

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI
INSTITUTUL POLITEHNIC „TRAIAN VUIA” TIMISOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCTII

ING. IOAN BORS

STRUCTURI DIN ELEMENTE SPAȚIALE DE BETON ARMAT

— TEZA DE DOCTORAT —

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA”
TIMIȘOARA

CONDUCĂTORI ȘTIINȚIFICI:

PROF. EM. ING. CONSTANTIN AVRAM
M.C. AL ACAD. R.S.R.

PROF. DR. DOC. ING. IOAN FILIMON

- 1988 -

NUMITUL	30	UNIVERSITATEA
	31	TIMIȘOARA
		A
		534.509
		325 6

CUPRINS

1.	INTRODUCERE. OBIECTUL SI STRUCTURA LUCRĂRII	1
2.	SISTEME DE CONSTRUCȚIE CU ELEMENTE SPAȚIALE SI PROCEDEE DE REALIZARE	7
2.1.	Clasificări ale elementelor spațiale	7
2.1.1.	Clasificare pe criterii structurale	7
2.1.2.	Clasificare pe criterii de funcționalitate.	7
2.1.3.	Clasificare pe criterii de alcătuire.	7
2.1.4.	Clasificare pe criterii de rezervare	8
2.2.	Sisteme de construcție cu elemente spațiale aplicate în străinătate	8
2.2.1.	Procedeeul SIGMA, sistemul constructiv SCOP, Franța.	8
2.2.2.	Sistemul LONJA, Finlanda.	11
2.2.3.	Sistemul VARIEL - ELCON - AG, Elveția	11
2.2.4.	Sistemul BOSTADSBULAGET - Göteborg, Suedia.	11
2.2.5.	Sistemul ZANUSSI - PARSUNA, Italia.	11
2.2.6.	Sistemul RAE-BEPT, Venezuela.	11
2.2.7.	Sisteme de construcție cu elemente spațiale aplicate în U.S.A.	15
2.2.8.	Sisteme de construcție cu elemente spațiale aplicate în U.S.S.S.	16
2.3.	Sisteme de construcție cu elemente spațiale aplicate în R. S. România.	20
2.3.1.	Generalități	20
2.3.2.	Sistemul ICI1 Brașov de construcție cu ele- mente spațiale tip inel	20
2.3.3.	Sistemul ICI2 Brașov de construcție cu ele- mente spațiale tip pubez culcat	21
2.3.4.	Sistemul C.A.C.-I.C.P.-C., Craiova	25
2.3.5.	Sistemul Iași	26
3.	FABRICABILITATEA LA ALGATUIRE A STRUCTURILOR SI A ASAMBLA- RIILOR COMPONENȚE	27
3.1.	Conceptul de modularitate	27
3.2.	Alcătuirea elementelor spațiale.	27
3.3.	Alcătuirea structurilor din elemente spațiale.	32
3.4.	Alcătuirea înbinărilor	35
3.5.	Alcătuirea infrastructurilor	42

II

4.	ASPECTE REFERITOARE LA COMPORTAREA STRUCTURILOR SI A SUAZINTELOR COMPONENTE. CARCETARI EXPERIMENTALE	43
4.1.	Aspecte privind comportarea pereților elementelor spațiale	44
4.1.1.	Alcătuirea pereților	45
4.1.2.	Modul de efectuare a încercărilor, constatări	45
4.1.3.	Definirea încărcării critice	46
4.1.4.	Modul de cedare. Stadii de lucru ale pere- ților	46
4.2.	Aspecte referitoare la comportarea coloznelor de elemente spațiale	49
4.2.1.	Elemente experimentale. Încercări	49
4.2.2.	Comportarea coloznelor la încercare	51
4.3.	Caractări experimentale asupra îmbinărilor realize- te în soluția cu boruuri perimetrice	53
4.3.1.	Elemente experimentale	54
4.3.2.	Rezultatele încercărilor	59
5.	ANALIZA PRIN CALCUL A STRUCTURILOR SI A SISTEMELOR COMPONENTE	61
5.1.	Metode pentru calculul structurilor din elemente spațiale	61
5.1.1.	Metode de calcul aplicate în străinătate	61
5.1.2.	Metode de calcul aplicate în R.S.România	63
5.2.	Analiza structurilor din elemente spațiale cu procedul macroelementelor	64
5.2.1.	Procedul macroelementelor Variante A	71
5.2.2.	Procedul macroelementelor. Variante B	85
5.2.3.	Procedul macroelementelor. Variante C	90
5.3.	Experimentări numerice asupra elementelor spațiale	95
5.3.1.	Experimentări numerice pe elemente spațiale Seria 1	95
5.3.2.	Experimentări numerice pe elemente spațiale. Seria 2	100
5.3.3.	Experimentări numerice pe elemente spațiale. Seria 3	110
5.3.4.	Concluzii rezultate din experimentările nu- merice pe elemente spațiale	123
5.4.	Experimentări numerice asupra coloznelor de elemente spațiale	124
5.4.1.	Experimentări numerice pe colozne de elemente spațiale. Seria 1	127

III

5.4.2. Experimentări numerice pe coloane de elemente spațiale. Seria 2	138
5.4.3. Concluzii rezultate din experimentările numerice pe coloane	148
5.5. Exemple de calcul. Comparații DROZDOV - MEF, TMIIEP - MEF	155
5.5.1. Exemplul de calcul nr. 1 Comparație DROZDOV - MEF	155
5.5.2. Exemplul de calcul nr. 2 Comparație TMIIEP - MEF.	159
6. REALIZĂRI ȘI ASPECTE DE EFICIENȚĂ TEHNICO-ECONOMICĂ. . .	160
6.1. Realizări în sistemul ICIM de construcție cu elemente spațiale tip inel.	160
6.2. Realizări în sistemul ICIM de construcție cu elemente spațiale tip pabaz culcat.	163
7. CONCLUZII GENERALE, VALORIFICĂRI	170
BIBLIOGRAFIE	177

1. INTRODUCERE. OBIECTUL ȘI STRUCTURA LUCRĂRII.

Productivitatea muncii este unul din indicatorii care sintetizează gradul de dezvoltare a unei societăți; creșterea lui este o preocupare permanentă atât în țara noastră cât și pe plan mondial.

Una din căile de creștere a productivității muncii în activitatea de construcții este prefabricarea spațială; ea constă în realizarea clădirilor din elemente mari spațiale, care se execută, în primă fază, prefabricat, de regulă în regia industrială și se montează, în fază următoare, pe șantier.

Prefabricarea cu elemente spațiale finisate, realizate în regia industrială, în poligoane, ateliere sau fabrici, se folosește cu succes la clădiri de locuit, hoteliere, școlare, administrative, precum și la construcții industriale (posturi de transformare electrică, cabine de comandă, cuve etc.), edilitare (cămine pentru instalații, case de pompe etc.), de organizare de șantier etc.

Procedee de construcție cu elemente spațiale, au fost elaborate și realizate mai ales în țări dezvoltate din punct de vedere tehnic și industrial; mai mult de loc de sisteme se aplică în peste 30 de țări, din care cităm: Franța [1], Elveția [70], U.R.S.S. [34, 110], Finlanda [131, 130], U.S.A. [94, 131, 132], Italia [60], Suedia [80], R.F.G. [92, 93], Norvegia [77], B.L.G. [69], Venezuela [14, 94], Israel [140], Japonia [93], R.S. România, etc.

Ideea fundamentală care stă la baza dezvoltării procedurilor de construcție cu elemente spațiale este organizarea unei fabricații care să asigure livrarea pe bandă rulantă a camerelor prefabricate, echipate cu toate instalațiile și complet finisate, principiu tehnologic folosit pentru produsele de serie ale multor ramuri industriale.

Elementele spațiale se realizează din beton armat (cu agregate grele sau ușoare), oțel, lemn, materiale plastice, sau prin folosirea combinată a acestor materiale; în lucrare se prezintă aspecte referitoare la sistemele de construcție cu elemente spațiale din beton armat.

Cel mai răspândit, în Europa Occidentală, este sistemul VARLAL al Societății ALCON A G Elveția; el a fost exportat în șase țări (Franța, R.F.G., Olanda, Belgia, Suedia, Republica Sud-Africană).

Valorul cel mai mare de clădiri cu structură din elemente spațiale se constată în U.R.S.S., unde funcționează, în prezent, peste 25 de fabrici, cu o capacitate anuală de producție de circa

două aliașe de m2. sînt desfășurate [34].

O diversitate mare de clădiri din elemente spațiale, avînd de la cîteva niveluri (1 la 5) pînă la peste 20, se realizează în zone neseismice, cu seismicitate moderată sau puternic seismică. La Taşkent (U.R.S.S.) a fost pusă recent în funcțiune (1964) o uzină de elemente spațiale finisate pentru clădiri cu 9 niveluri care se construiesc în zone cu gradul 9 de protecție antisismică [119]. În Porto-Rico (U.S.A.) s-au executat clădiri înalte (unele cu 22 de niveluri), cu structura din elemente spațiale montate în șah (sistemul SHALLEY), în zone seismice, expuse și la vînturi de mare intensitate [131].

Elementele spațiale finisate sînt transportate uneori la distanțe foarte mari, pentru construirea de clădiri în zone izolate (ex. elemente spațiale livrate de uzina din Krasnodar - U.R.S.S., sînt transportate în Siberia [34]), sau în alte țări (ex. camere prefabricate complet finisate, executate în sistemul I.C.I. la Alsbens - U.S.A., sînt transportate sute și pe vase pentru lucrări în Olanda și Arabia Saudită [132]; elemente spațiale în sistemul VARIAL pentru o școală la Genova - Italia au fost transportate pe calea ferată de la Paris [70]).

Tendința actuală în U.R.S.S. este dezvoltarea în cadrul fabricilor existente de panouri mari a unor secții de fabricație a elementelor spațiale cu valoare mare de instalații și finisaje (bucătării, băi, case de scară, puțuri de lift etc.), pentru realizarea în prima etapă de construcții mixte - din panouri mari și elemente spațiale - și trecerea progresivă a acestora la producția integrată de elemente spațiale [34].

În țara noastră există o bună și îndelungată experiență în domeniul construcțiilor din elemente spațiale. Pe parcursul a peste 25 de ani au fost realizate procedee și instalații de forare a elementelor spațiale, sisteme de construcție [28], și au fost efectuate cercetări teoretice și experimentale asupra elementelor, îmbinărilor și structurilor [154].

În anii 1961 - 1962 au fost experimentate, la Coști, primele elemente spațiale de marimea camerelor, iar în anul 1963 a fost construită, din aceste elemente, o clădire de locuit cu trei niveluri și 12 apartamente [7].

În aceeași perioadă (1962) s-a experimentat, la Iași, un element spațial de beton armat cu agregate din granuliți cu dimensiunile de 3,60 x 12,00 - 2,90 x [93], și a fost executată o clădire de garsoniere (1963) din elemente spațiale asamblate din panouri marvurate [7].

Activitatea din Braşov, în domeniul prefabricării cu elemente spaţiale, a început în anul 1969, când a fost pusă în funcţiune o instalaţie rotitoare, de formare a unor elemente spaţiale de tip inel; prima clădire realizată din aceste elemente a fost un bloc de locuinţe cu 5 niveluri şi 20 apartamente [103, 20].

Preocupările în acest domeniu s-au intensificat în deceniul 1970 - 1980, impulsionate de volumul mare de locuinţe necesare de executat şi de imperativul creşterii productivităţii muncii. Ele s-au concentrat în direcţia realizării elementelor spaţiale în uzină, sub formă de camere prefabricate, echipate cu toate instalaţiile şi complet finisate. S-au dezvoltat începând din 1972, în paralel, două sisteme de construcţie : Sistemul ICIM la Braşov şi sistemul C.M.C. - I.C.P.M. la Craiova. În aceste sisteme s-au construit, în clădiri cu 5 niveluri, circa 5.000 de apartamente la Braşov şi circa 3.000 la Craiova.

În prezent sînt în desfăşurare, la IPCT, cercetări teoretice şi numerice în vederea punerii la punct a unui sistem structural alcătuit din nuclee de elemente spaţiale prefabricate şi panouri de planşeu, pentru clădiri cu 9 niveluri [47].

Procedeele de construcţie cu elemente spaţiale finisate asigură condiţii de organizare a lucrărilor pe principii industriale, cu toate avantajele ce decurg dintr-o asemenea organizare :

- Transferarea unui volum de 70 - 80% din lucrările de construcţii şi instalaţii în ateliere, fabrici sau poligoane;
- Posibilităţi mai bune de mecanizare, şi în viitor de robotizare, a lucrărilor;
- Creşterea calităţii lucrărilor ;
- Creşterea condiţiilor mai bune de lucru pentru personalul muncitor ;

— Creşterea spectaculoasă a productivităţii muncii pe şantier, unde realizarea unei clădiri costă în montajul simplu şi rapid a unui număr redus de piese mari, finisate şi echipate cu toate instalaţiile şi recordarea instalaţiilor (piesele au o bună stabilitate proprie în timpul montajului datorită alcătuirii spaţiale a lor) ;

- Reducerea substanţială a duratelor de execuţie; un ritm de montaj de circa 25 - 30 elemente spaţiale pe zi este asigurat de o macara de mare capacitate (100 - 150 tm), deservită de o echipă de 5 muncitori. (În sistemul ICIM Braşov s-au obţinut performanţe remarcabile : o clădire cu 20 apartamente şi 5 niveluri, la care s-au utilizat 100 de elemente spaţiale, a fost realizată con-

plet, pe fundațiile pregătite în avans, în numai 6 zile).

Pentru asigurarea unui ritm rapid de montaj se urmărește simplificarea soluțiilor de asamblare în clădire. În multe sisteme de construcție s-a renunțat la restabilirea monolitismului prin îmbinări continue. Alcătuirea clădirilor se face din componente structurale verticale specifice (definite în subcapitolul 3.3.): stive (șiruri de elemente spațiale stivuite fără legături între elementele suprapuse),

coloane elementare (stive la care se efectuează îmbinări pentru preluarea întinderilor între elementele suprapuse) și

coloane complexe (coloane elementare asociate cu îmbinări în lungul muchiilor verticale), legate între ele la nivelul planșelor, în unele cazuri numai cu îmbinări uscate (plăcuțe metalice sudate).

Astfel alcătuite structurile din elemente spațiale formează o categorie distinctă, cu proprietăți și comportări care le diferențiază de celelalte tipuri de structuri :

- Repreluarea forțelor tăietoare în rosturile verticale între componentele structurale alăturate ;

- „Inregistrarea”, la efectul combinat al încălzirilor gravitaționale și orizontale de exploatare, a unor deplasări de tip „glăsare” în rosturile orizontale, între elementele prefabricate suprapuse, care conduc la discontinuități de rigiditate ale componentelor structurale ;

- Bessigurarea, în unele soluții de îmbinare, pentru întreaga structură, a șelurilor orizontale indeformabile la nivelul planșelor : acestea sînt asigurate numai în cuprinsul componentelor structurale ;

- Elementele spațiale au, în majoritatea sistemelor, pereți subțiri (5 la 9 cm), cu coeficienți de zveltețe convenționali λ (exprimați ca raport între înălțimea și grosimea peretelui) de 30 la 40 și chiar 50, mult peste limitele prevăzute în prescripțiile de proiectare pentru alte categorii de structuri cu pereți portanți (panouri mari, diafragme din beton monolit).

În lucrarea de față se face analiză unor aspecte specifice de alcătuire, comportare și calcul a elementelor spațiale și a structurilor formate din acestea.

Capitolul 2 conține prezentarea sintetică a unor sisteme de construcție cu elemente spațiale și a procedurilor de realizare, aplicate în țară și străinătate.

Capitolul 3 cuprinde principii și soluții de alcătuire a elementelor spațiale, îmbinărilor și structurilor. La elaborarea unui sistem de construcție și a tehnologiei aferente, este recomandată

adoptarea conceptului de modularitate în baza căruia proiectarea și realizarea elementelor spațiale se face sub forma unei serii de moduli spațiali, fiecare modul oferind posibilitați de multiple rezolvări funcționale și de folosire la o gamă variată de clădiri. Adoptarea acestui concept asigură industrializarea avansată a elementelor spațiale și tipizarea „deschisă” a construcțiilor : obiectul tipizării nu este clădirea în întregime ci elementele componente și îmbinările acestora.

Capitolul 4 prezintă aspecte referitoare la comportarea structurilor și a elementelor componente (comportarea pereților, coloanelor și îmbinărilor aferente sistemului ICIH Brașov) rezultate din cercetări experimentale, având drept scop să stabilească o bază de date necesare în activitatea practică de proiectare, care să suplینească lipsa de prescripții în acest domeniu.

Capitolul 5 tratează analiza prin calcul a structurilor și a elementelor componente. Sunt prezentate metode și modele de calcul aplicate în străinătate și în țară.

Este adoptat PROCESUL MACROELEMENTELOR - procedeu unitar de analiză spațială a structurilor și a elementelor componente - elaborat de autor în baza metodei elementelor finite. Procedeu constă în fragmentarea ansamblului structural în elementele componente din care este alcătuit - elemente spațiale, panouri, coloane de elemente spațiale, nuclee structurale, elemente de îmbinare etc. - denumite macroelemente, care sînt considerate în prima fază de analiză ca structuri separate discretizate în elemente finite, iar în faza a doua sînt tratate ca elemente finite complexe și asamblate în structură după principiile stabilite în metoda elementelor finite.

Prin extinderea conceptului de modularitate de la alcătuirea structurilor la analiza prin calcul a acestora, macroelementele sînt rezolvate ca moduli care sînt bibliotecăți și refolosiți la mai multe tipuri de clădiri.

În vederea cunoașterii stărilor de efort-deformație s-au efectuat experimentări numerice, în domeniul elastic, asupra elementelor spațiale, coloanelor și structurilor din elemente spațiale.

Experimentările numerice pe elemente spațiale urmăresc să evidențieze influența golurilor în pereți și a sării acestora, modulul de rezonanță în structură (liniară și concentrată), sistemului de alcătuire și a imperfecțiunilor de fabricație și montaj.

Experimentările numerice pe coloane au ca obiective principale : analiza comparativă a unor modele de calcul, studiul influenței modulului de rezonanță a elementelor spațiale în coloana (lini-

ară, concentrată și cu imperfecțiuni), analiza comparativă a coloanelor avind peneuri de față și portante sau numai de rigiditate, studiul efectului rigidității reale a îmbinărilor între elementele suprapuse comparativ cu ipoteza monolitismului perfect.

Pentru analiza comparativă a metodelor sovietice ИЗОДОВ și ТИИЭР, cu metoda elementelor finite aplicată prin procesul necreșterii, s-au efectuat experimentări numerice pe două structuri, fiecare structură fiind alcătuită din două coloane de elemente spațiale.

Sunt prezentate concluzii asupra experimentărilor numerice efectuate.

Capitolul 6 prezintă principalele realizări în domeniul structurilor din elemente spațiale obținute cu participarea autorului acestei lucrări.

Capitolul 7 cuprinde concluzii generale care se desprind din lucrare, contribuțiile autorului și modul de valorificare a rezultatelor.

Această categorie de structuri asigură arhitectului proiectant o mare libertate în organizarea spațiului construit pentru o gamă variată de funcțiuni ca : locuințe, hoteluri, școli, construcții administrative, edilitare etc. În cazul locuințelor folosirea combinată de elemente spațiale „închise”, pentru băi, bucătării, casa scării, așez liftului, și „deschise” sau „parțial deschise”, pentru dormitoare și camerele de zi, conduce la posibilitatea de transformare a acestora în viitor.

Pericolul uniformității și monotonei clădirilor poate fi mai ușor combătut, decât în cazul altor categorii de structuri din elemente de serie (de ex. panouri mari), prin mijloace specifice acestui sistem constructiv : folosirea în aceeași clădire de moduli spațiali cu dimensiuni diferite și/sau montarea acestora cu retrageri, în scări, sau prin suprapunere încrucișată, pentru formarea de terase, logii. Exemplul HABITAT - Montreal, Canada [92], demonstrează din plin aceste posibilități.

În vederea creșterii eficienței sistemelor de construcție cu elemente spațiale și a reducerii consumurilor energetice, tehnologia de fabricație poate fi organizată pe poligoane deschise, sau chiar prin amplasarea instalațiilor de formare a elementelor spațiale (realizate de tip „mobil”) în centrele de greutate ale șantiere-lor de montaj; tratamentele termice pentru întărirea betonului pot fi înlocuite cu noi editivi acceleratori, asociți cu plastefianți și superplastefianți [89, 95, 184].

2. SISTEME DE CONSTRUCȚIE CU ELEMENTE SPAȚIALE ȘI PROCEDURI DE REALIZARE.

2.1. CLASIFICĂRI ALE ELEMENTELOR SPAȚIALE.

2.1.1. Clasificare pe criterii structurale.

a) Elemente spațiale portante : compun structura de rezistență a clădirii sau participă la alcătuirea acesteia, structura elementelor poate fi cu schelet și planșee (stâlpi, grinzi și planșee), cu pereți portanți și planșee, sau mixtă (stâlpi, pereți și planșee).

b) Elemente spațiale neportante : sînt susținute în cadrul clădirii de o structură suplimentară (de ex. o structură din cadre)

2.1.2. Clasificare pe criterii de funcționalitate.

a) Elemente spațiale deschise („flexibile“) : au structura cu schelet, asigură o mare libertate în organizarea spațiului construit (fig. 2.1. A, B, C).

b) Elemente spațiale parțial deschise : sînt executate în sistem inelar, tubular sau cu geluri mari în pereți, asigură o flexibilitate limitată în organizarea spațiului construit (fig. 2.1. D, E).

c) Elemente spațiale închise : sînt cutii cu șase fețe închise (fig. 2.1.F).

2.1.3. Clasificare pe criterii de alcătuire.

Elementele spațiale cu pereți portanți pot fi clasificate din punct de vedere al alcătuirii, în funcție și de procedul tehnologic de realizare, în următoarele sisteme :

A. Sistemul tunel (inel) : elementul spațial este alcătuit din doi pereți, planșeul de pardoseală și planșeul de tavan, realizate prin turnarea monolită sau prin asamblare din panouri prefabricate (fig. 2.2. A).

B. Sistemul cutie asamblată din panouri prefabricate : cutie poate să fie deschisă pe una sau două laturi (fig. 2.2. B).

C. Sistemul planșă : elementul spațial este alcătuit din planșeul de tavan și patru pereți turnați monolit pe care se asamblează planșeul de pardoseală, realizat dintr-un panou prefabricat. Într-o altă variantă panoul de fațadă, prefabricat separat, se monolitizează cu pereții și planșeul de tavan odată cu turnarea acestora (fig. 2.2.C, 2.6).

D. Sistemul perei. : elementul spațial este alcătuit din planșoul de pardoseală și patru pereți turnați monolit pe care se montează planșoul de tavan prefabricat separat. Sînt posibile și alte variante (fig. 2.2.D) :

- peneul de fațadă, prefabricat separat, se monolitizează cu pereții odată cu turnarea acestora ;
- planșoul de pardoseală, prefabricat separat, se monolitizează cu pereții odată cu turnarea acestora (D');
- elementul se livrează fără planșoul de tavan.

E. Sistemul tunel închis la capete : elementul spațial este alcătuit din doi pereți, planșoul de pardoseală și planșoul de tavan, turnați monolit, pe care se montează doi pereți realizați din panouri prefabricate (fig. 2.2.E)

F. Sistemul perei culcată : elementul spațial este alcătuit din trei pereți, planșoul de pardoseală și planșoul de tavan turnați monolit, pe care se montează peneul de fațadă, prefabricat separat (fig. 2.2.F).

Peneul de fațadă poate avea rol portant, de rigidizare sau de închidere.

2.2.4. Clasificare pe criterii de rezonanță.

- a) elemente spațiale rezonate liniar pe conturul pereților portanți sau pe porțiuni mari ale acestora.
- b) elemente spațiale rezonate concențiat pe cele patru colțuri sau pe zone limitate întărite cu stâlpi, bulbi.

2.2. SISTEMUL DE CONSTRUCȚIE CU ELEMENTE SPAȚIALE APLICAT ÎN ȘEBANITARI.

Pe plan mondial există o mare varietate de procedee de realizare a elementelor spațiale și o multitudine de sisteme constructive pentru clădiri cu structură din elemente spațiale. În continuare sînt prezentate succint, cîteva din acestea.

2.2.1. Procedeeul SIGMA, sistemul constructiv SCOT, figura 1) (fig. 2.3.)

Procedeeul SIGMA constă în realizarea elementelor spațiale din panouri asamblate cu buloane. Pereții au grosimea de 5 cm iar planșeele 8 cm. Elementele spațiale pot avea goluri mari în pereți sau pot fi complet deschise pe o latură. Toleranțele la asamblarea panourilor sînt de ± 1 mm. Lățimea elementelor este de 280 cm; pentru camere mai mari sînt asociate două elemente spațiale. Se folosesc pentru locuințe individuale și colective, școli, spitale, construcții administrative, în clădiri cu maxim 5 niveluri. Elementele

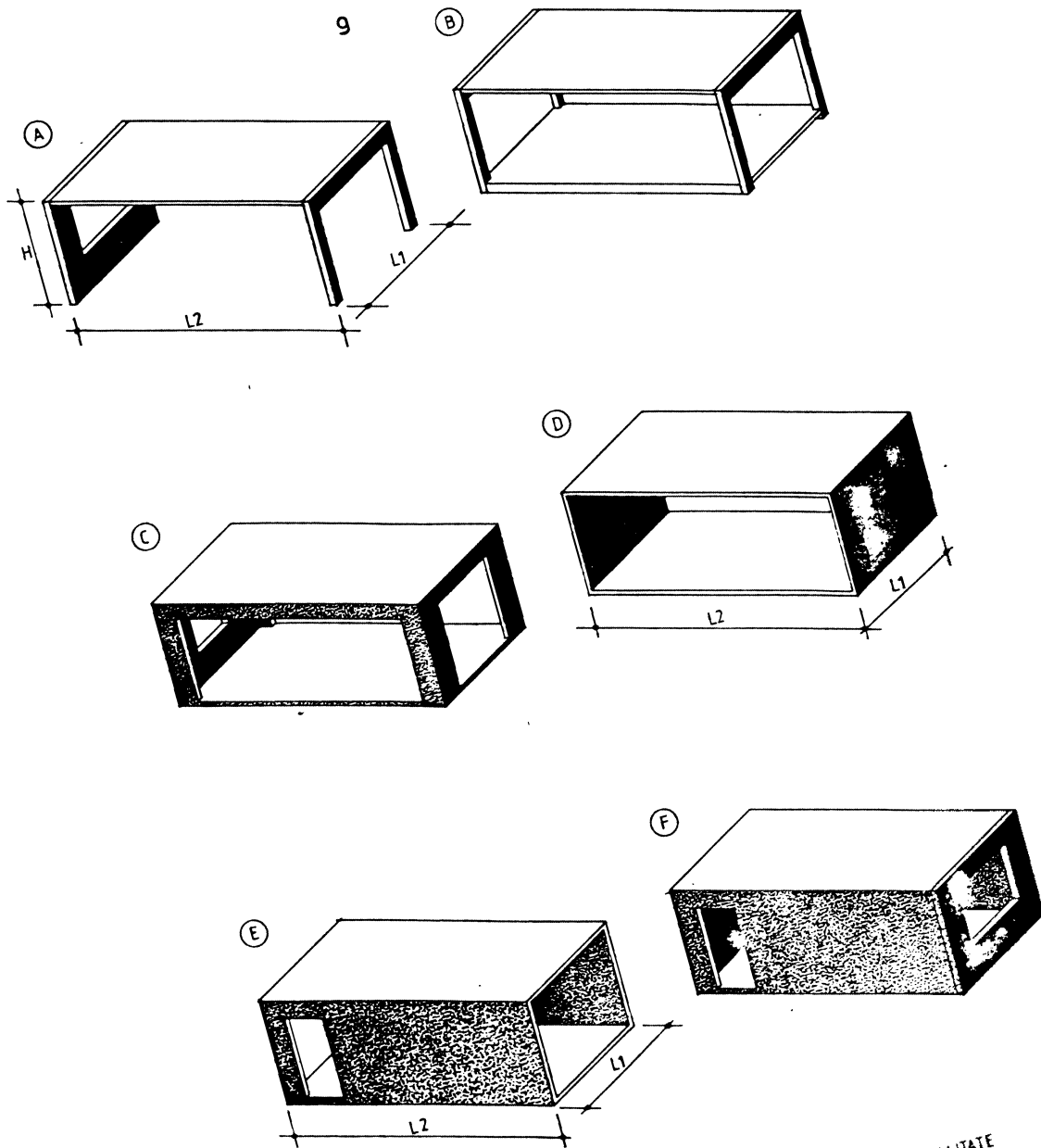


Fig. 2.1 ELEMENTE SPAȚIALE . CLASIFICARE PE CRITERII DE FUNCȚIONALITATE

(A) (B) (C) — sisteme deschise
 (D) — sistem inelar $L1 < L2$
 (E) — sistem tubular (funel) $L1 < L2$
 (F) — sistem închis (cutie)

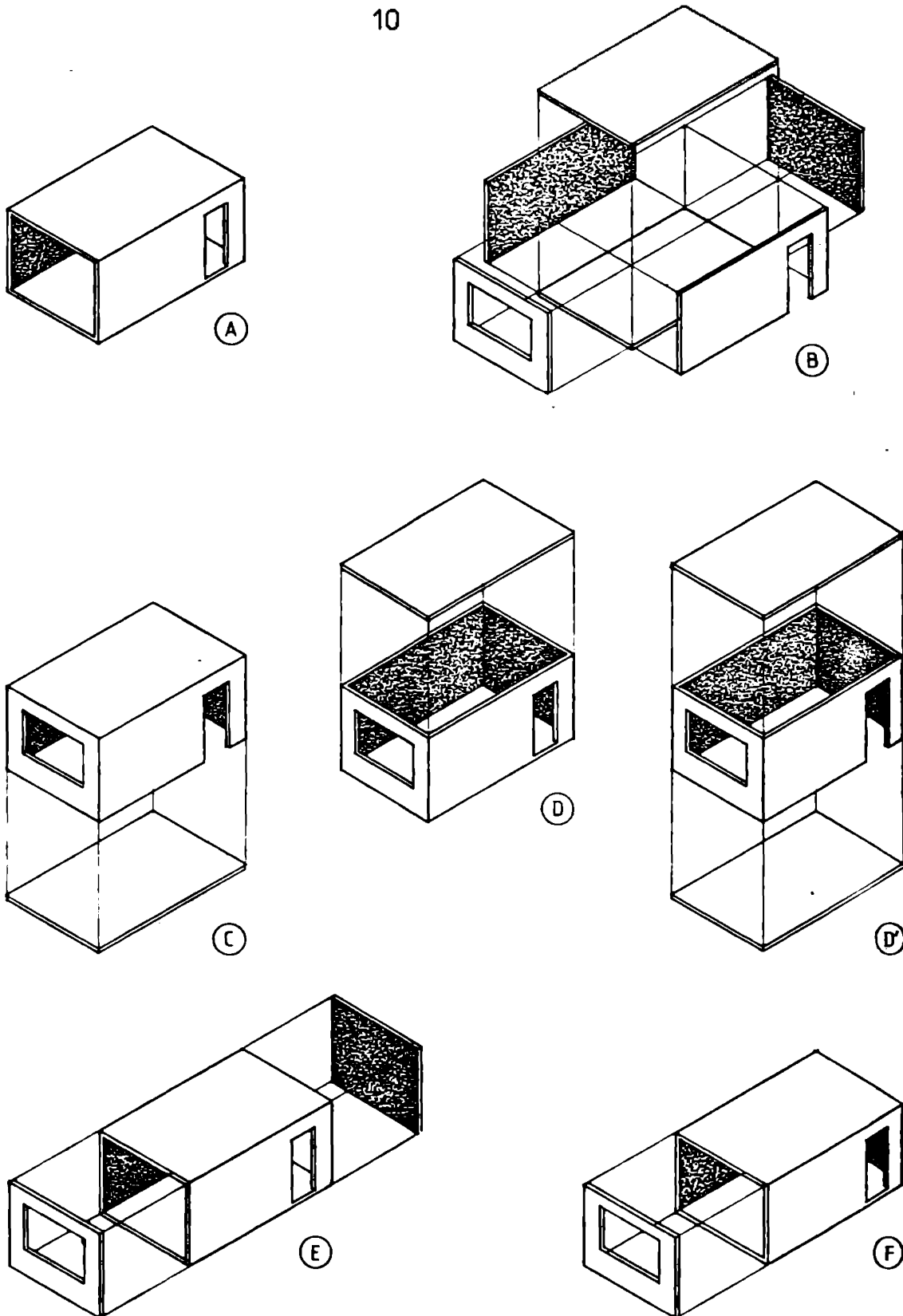


Fig. 2.2 ELEMENTE SPATIALE. CLASIFICARE PE CRITERIU DE ALCATUIRE

- A — Sistemul tunel
- B — Sistemul cutie asamblata din panouri
- C — Sistemul clopot
- D, D' — Sistemul pahar
- E — Sistemul tunel închis la capete
- F — Sistemul pahar culcat

spațiale sînt livrate din uzină, echipate cu instalațiile interioare și complet finisate, în buse de protecție.

Sistemul constructiv SCOF constă în asamblarea clădirilor din elemente SIGMA prin simple stivuire pe verticală și prin efectuarea unor legături în plane orizontale, cu piese metalice, la nivelul planșelor de tavan (fig. 2.3. f), sau prin monolitizare longitudinală a planșelor alăturate, în cazul elementelor deschise (fig. 2.3. e). Elementele spațiale se pot suprapune și încruciașă; sînt rezemate concentrat pe colțuri și eventual pe anumite zone întărite cu bulbi (fig. 2.3 d). Pereții și planșele care se dublează sînt distanțate cu 6 cm, în spațiile libere se introducează vază minerală. Construcțiile sînt prevăzute la exterior cu panouri termozoliste, autoportante, care se atașează pe elementele spațiale. Ritmul de montaj pe șantier este de 15 - 20 elemente spațiale pe zi, cu o lucrare de lucru în capacitate (greutatea unui element este de circa 13 tone), și o echipă de 6 muncitori.

Acest sistem, exploatat din anul 1974, folosește elemente spațiale fabricate în două uzine : Uzina din Violaine (Pas de Calais) cu capacitatea de 1.000 locuințe pe an și uzina din Lens (Gartbe) cu capacitatea de 500 locuințe pe an; două uzine exploatează precedul în străinătate. În Franța au fost executate, cu acest sistem, peste 10.000 de locuințe colective și individuale.

2.2.2. Sistemul LUNJA - Finlanda [131, 130]

Elementele spațiale, alcătuite în sistem tunel, închise la capete cu pereți cortină sau cu panouri prefabricate din beton armat, se montează transversal clădirii, realizînd întreaga lățime a acestora. Fețele exterioare ale pereților longitudinali sînt nervurate sub formă trapezoidală; la montaj nervurile se interpătrund reducîndu-se grosimea pereților. În acest sistem se execută clădiri de locuit (pînă la 5 niveluri), case de vacanță și hoteluri (pînă la 10 - 12 niveluri). Sistemul a fost exportat în R.F.G., unde s-a executat o unitate de producție la firma Max Giese Bau GmbH (1977).

2.2.3. Sistemul Vahiala - MRCO - A.G., Suedia [70].

Aste un sistem deschis, care folosește un singur tip de element spațial (cu dimensiuni modulare diferite), alcătuit din două cadre de beton armat identice, fixate rigid pe un planșeu nervurat din beton precomprimat și un tavan realizat dintr-o rețea de profile metalice ușoare fabricate în materiale de finisaj (fig. 2.4). Abaterile dimensionale, la realizarea elementelor spațiale, sînt de maxim 2-3 mm. Elementele se livrează la șantier complet finisate, protejate cu buse.

Prin asamblarea elementelor în clădiri etajate se obțin structuri în cadre pe două direcții. În acest sistem a fost realizată o gamă variată de clădiri, cu 1 până la 5 niveluri : locuințe individuale și colective, școli, clădiri universitare, biblioteci, laboratoare, clinici, clădiri de birouri etc.

După sistemul VARISL au fost puse în funcțiune unități de producție în Franța, Olanda, R.F.G., Belgia, Suedia, și Republica Sud-africană [54]. Uneori elementele spațiale finite sunt transportate, pe cale ferată, pe distanțe foarte mari, pentru lucrări în alte țări. (ex.: elementele spațiale pentru o școală la Geneva-Italia, au fost transportate de la Paris, 1200 km).

Manopera totală înglobată este de 6,9 ore-ore/a² de construcție, din care 5,3 ore-ore/a² în fabrică și 1,6 ore-ore/a² pe șantier.

2.2.4. - Sistemul ROSTADSBOLAGET - GÖTEBORG, Suedia [114, 178].

Este un sistem mixt : folosește elemente spațiale pentru băi, bucătării și lift, și panouri mari pentru restul clădirii. Elementele spațiale tip pahar, fără planșeul de tavan, se livrează la șantier cu obiectele sanitare și mobilierul montat, protejate în buse; panourile se livrează finite, cu tâmplărie montată. Toleranțele de execuție a elementelor prefabricate sînt de 2 - 5 mm. În acest sistem se realizează clădiri de locuit cu 5 niveluri.

Manopera totală înglobată este de 4,05 ore-ore/a² de construcție, din care 2,06 ore-ore/a² în fabrică și 1,99 ore-ore/a² pe șantier.

2.2.5. Sistemul ZANUSSI - FABRICA, Italia. [68].

Are la bază două tipuri de elemente spațiale cu aceeași dimensiuni (3,00 x 4,80 - 3,00 m) : un element tip pahar culcat și un element tip inel, care se combină în construcție. Camerele mari se realizează din două elemente. Asamblarea se face prin înbinarea cu buloane a elementelor suprapuse și prin posttensionarea orizontală cu tije, a celor alăturate.

2.2.6. Sistemul SMI - BMT, Venezuela [14, 94].

Sistemul se referă la clădiri cu 15 niveluri, amplasate în zone puternic seismice, realizate din coloane de elemente spațiale (tip pahar), asamblate prin precompresie verticală (numite moduli tubulari rezistenți) și planșee prefabricate, de suprafață mare, rezemate pe coloane. Planșeele se înbină cu elementele spațiale prin precompresie orizontală. Pereții elementelor spațiale sînt alcătuiți din plăci de beton gros de 15 cm grosime, rigidizate cu nervuri.

Sistemul a fost studiat, în baza contractelor cu partenerul străin, la I.P.C.F. București [14] și la I.C.C.F.B.C. Filiale Iași.

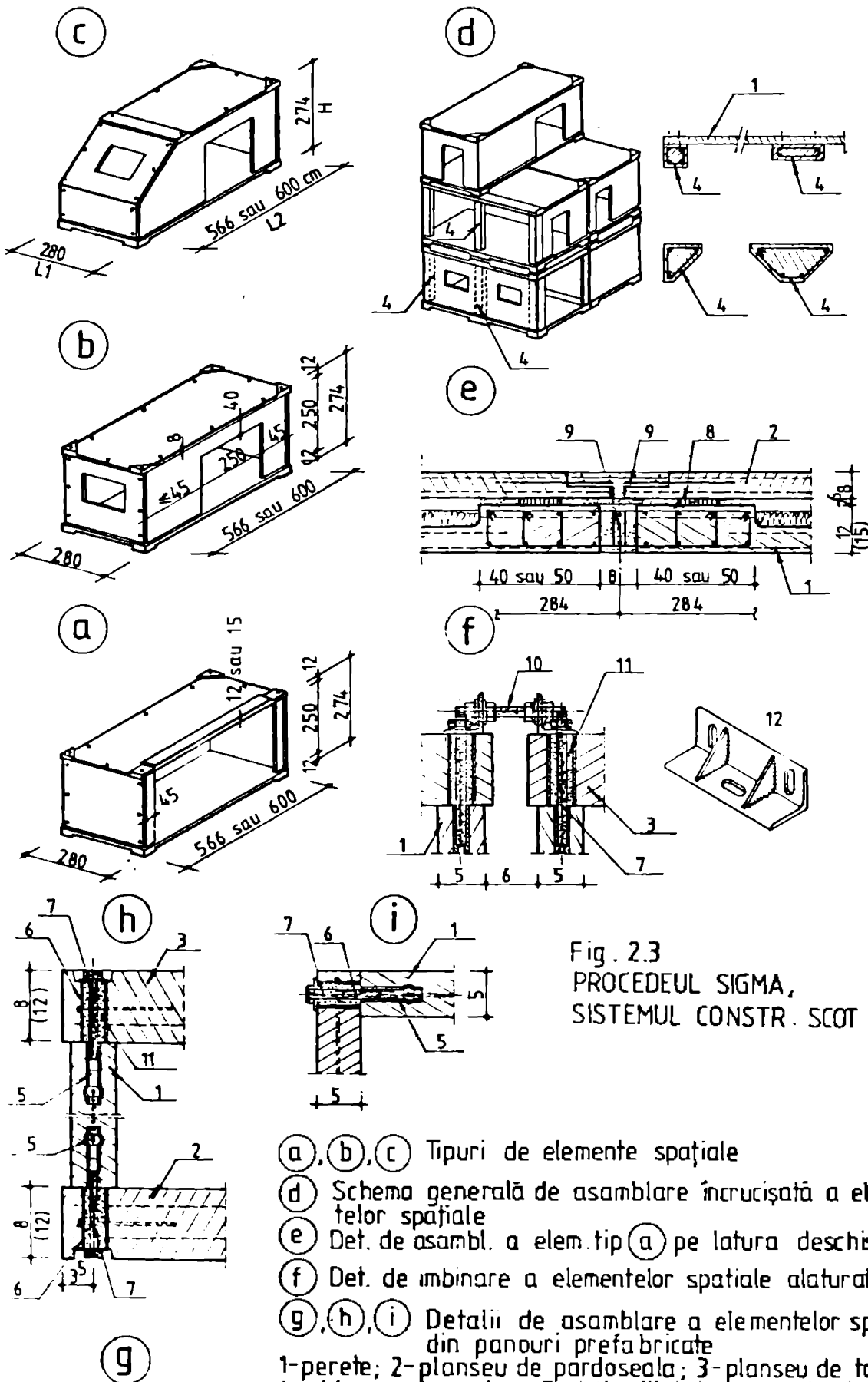
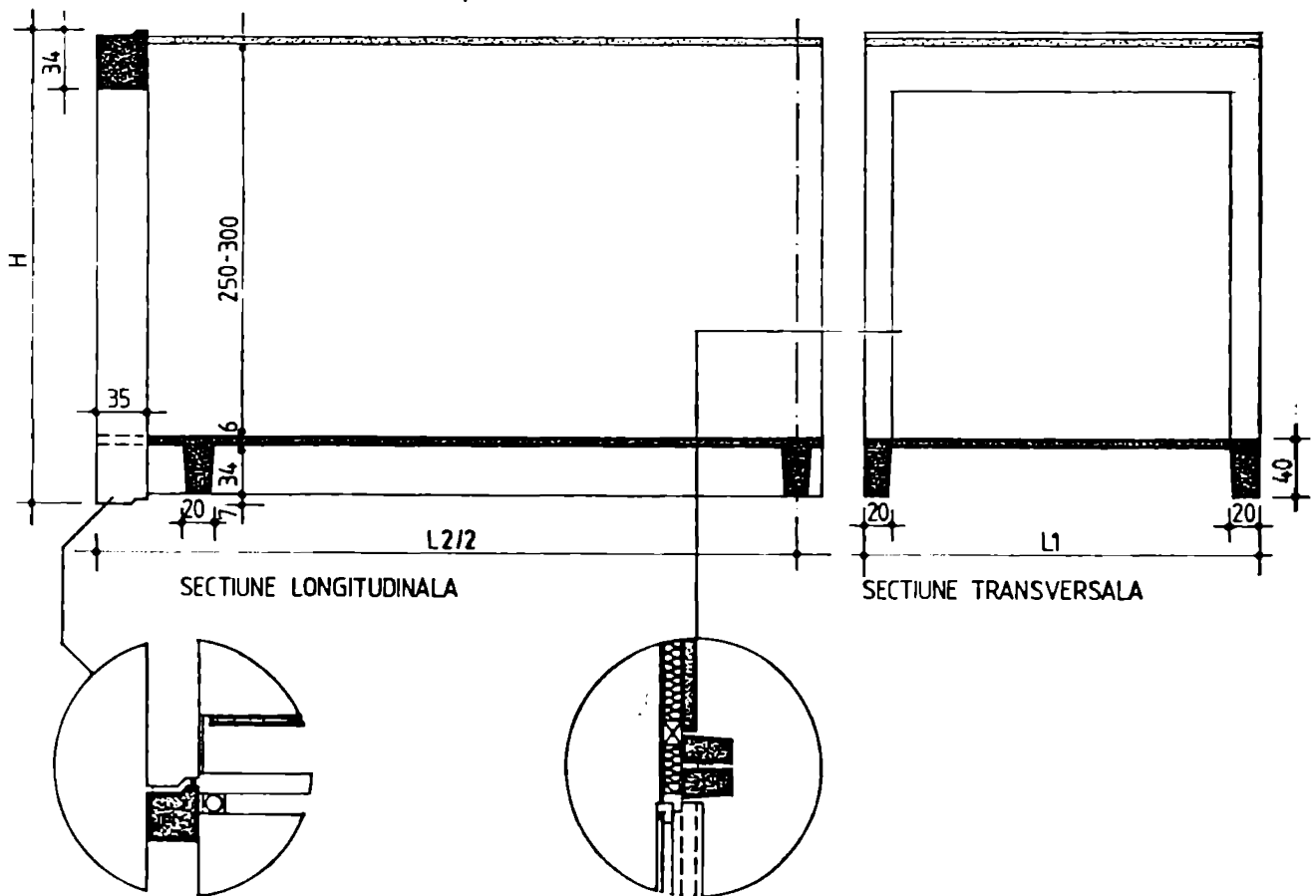
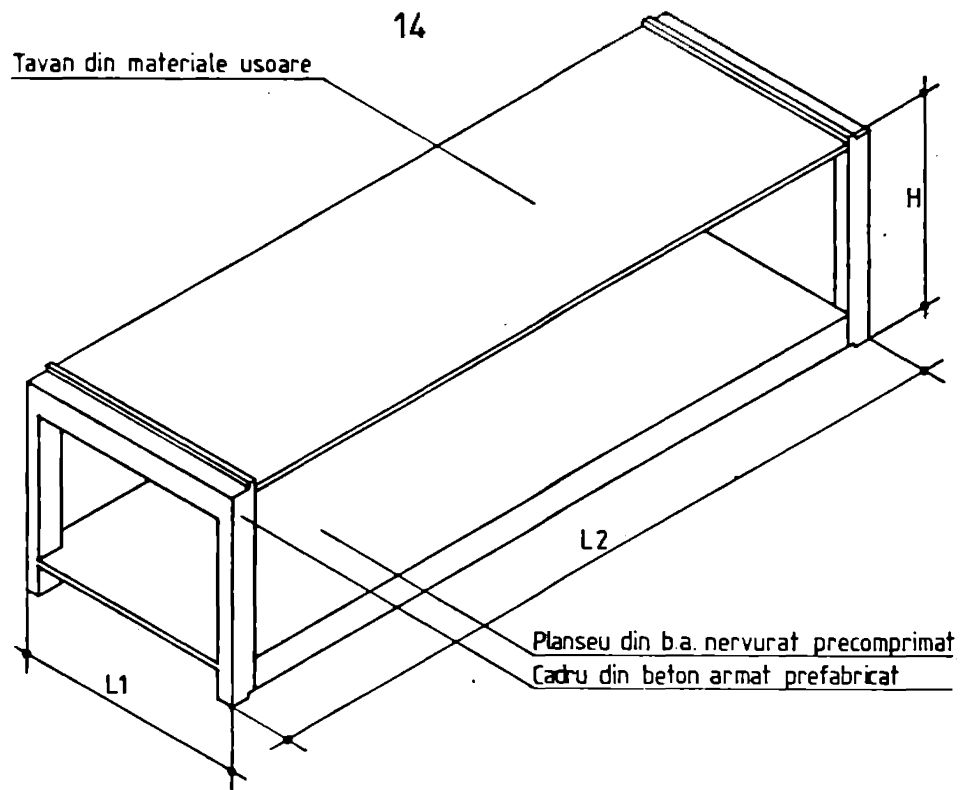


Fig. 2.3
 PROCEDEUL SIGMA,
 SISTEMUL CONSTR. SCOT

- (a), (b), (c) Tipuri de elemente spațiale
 (d) Schema generală de asamblare încrucișată a elementelor spațiale
 (e) Det. de asambl. a elem. tip (a) pe latura deschisă
 (f) Det. de imbinare a elementelor spațiale alăturate
 (g), (h), (i) Detalii de asamblare a elementelor spațiale din panouri prefabricate
 1-perete; 2-planșeu de pardoseala; 3-planșeu de tavan; 4-stîlp complementar; 5-dulie filetata ancorata; 6-manșon din teava; 7-bulon; 8-reazem din neoprem; 9-beton monolit; 10-tija filetata; 11-mortar de ciment; 12-piesa de legatura.



L1 (cm) = 240, 270, 280
 L2 (cm) = 720, 840, 960, 1050, 1080
 H (cm) = 240, 320
 Greutate (to) = 16 - 24

Fig 2 4 SISTEMUL VARIEL

I.P.C.T. a efectuat analize numerice, seismice, în domeniul elastic și în domeniul postelastice, iar la Iași au fost făcute încercări statice pe nodal 1/3 asupra îmbinării între elementele suprapuse, și încercări statice și dinamice pe nodal 1/4 asupra unui subsansamblu de structură cu două niveluri. Rezultatele studiilor efectuate au constituit o bază pentru proiectarea sistemului.

2.2.7 Sisteme de construcție cu elemente spațiale aplicate în U. S. A.

a) Sistemul ZACHRY Co., San Antonio, Texas.

În acest sistem a fost realizată în anul 1968 prima clădire din elemente spațiale de beton armat din U.S.A., reprezentând un hotel cu 22 de niveluri (496 camere) în San Antonio. Elementele spațiale din beton ușor, tip pahar culcat, închise cu pereți cortină, au fost livrate la șantier complet finisate și mobilate [94].

b) INTERNATIONAL SYSTEMS (ICI), Mobile, Alabama [182]

Elementele spațiale se realizează din beton ușor în sistemul pahar (fig. 2.2.D¹); decofrarea paharului se face după 45 de minute de la terminarea turnării datorită folosirii unui beton cu întărire accelerată. Elementele se folosesc la clădiri de locuit și hoteliere, până la 16 niveluri, amplasate și în zone seismice. Compania livrează camere echipate cu toate instalațiile și complet finisate; sînt transportate și la foarte mari distanțe pentru lucrări în diferite țări (de ex. în Arabia Săudită, Malaezia).

c) Sistemul SHELLS - U.S.A. [181].

Elementele spațiale sînt realizate în sistem tunel monolit; fiecare element conține planșoul de pardoseală, doi pereți laterali întăriți cu stâlpi, planșoul de tavan nervurat (prevăzut cu rigifi-zari care leagă stâlpii) și în anumite cazuri pereți portanți de compartimentare (fig. 2.5). În cele mai multe cazuri lungimea elementelor spațiale este cît lățimea clădirii.

Elementele spațiale se montează în șah: stâlpii se suprapun, iar pereții sînt în general decalați în planuri verticale diferite, în așa fel încît se creează spații pentru trecerea conductelor. Îmbinarea elementelor în structură clădirii se face prin sudarea unor piese metalice amplasate pe stâlpi, pentru clădiri cu puține niveluri și prin precompzimare verticală, cu tije sau cabluri, plasate în secțiunea stîlpilor, pentru clădiri înalte, amplasate în zone seismice. În acest sistem a fost executat un număr mare de clădiri de locuit și hoteluri, cu puține niveluri și cu 16 - 22 niveluri, amplasate în statele New Jersey și Puerto Rico.

În anul 1977, după cotremurul din 4 martie, S. W. Shelley a

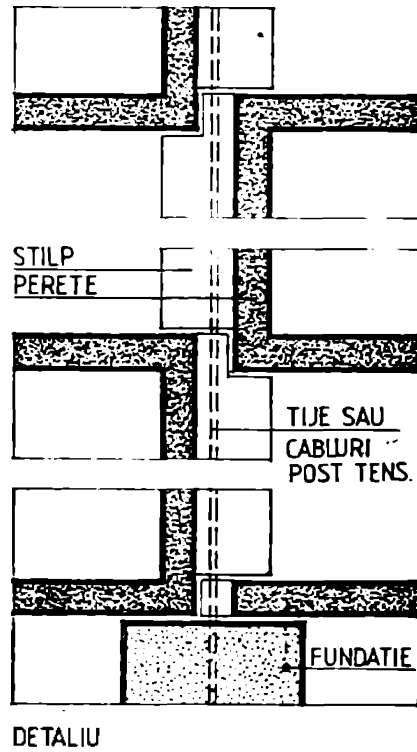
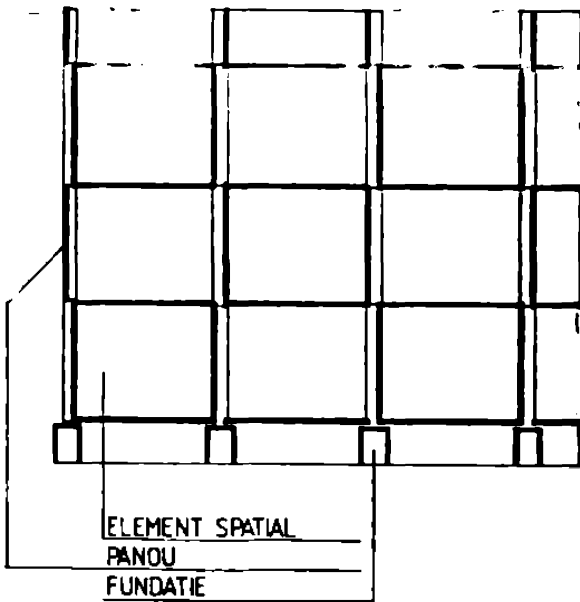
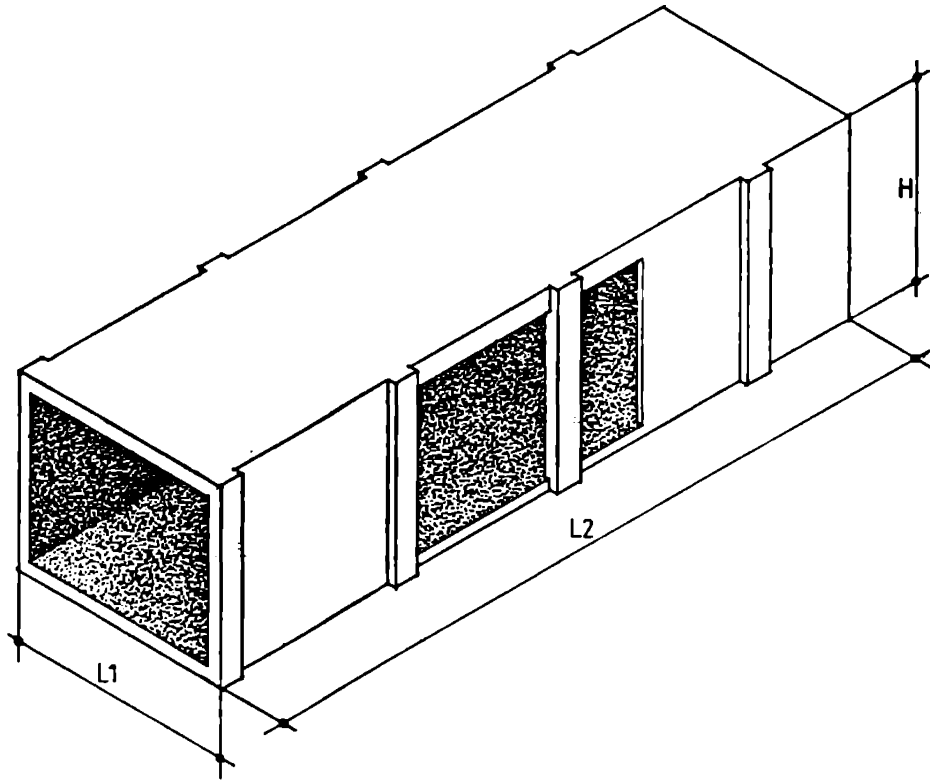
prezentat sistemul său în România ca o soluție pentru clădirile de locuit din zonele seismice.

2.2.8. Sisteme de construcție cu elemente spațiale aplicate în U.R.S.S. [34, 110, 28].

Sistemele de construcție cu elemente spațiale aplicate în U.R.S.S. sînt bine cunoscute în țara noastră prin apariția, în traducere, la Editura Tehnică, în 1983, a lucrării lui P.I. Bronnikov „Construcții din elemente spațiale” și prin colaborarea tehnico-stiințifică între Institutul IACASG, cu participarea întreprinderii I.C.I.A. Brașov și Institutului I.R.C.T. din R.S. România, și Institutul INILAP Moscova cu participarea combinatei de case din Krasnodar și Seol din U.R.S.S., colaborare desfășurată între anii 1974 - 1980 [125, 126, 127, 156, 28].

Primele studii și proiecte pentru clădiri din elemente spațiale au fost elaborate în anii 1957 - 1958. În anul 1958 s-a construit la Tbilisi primul bloc de locuințe cu două niveluri din elemente spațiale de dimensiunea camerelor, apoi, pînă în anul 1962 au fost realizate clădiri din elemente spațiale la Moscova, Leningrad, Kiev, Minsk, Tbilisi, Krasnodar și în alte orașe. Au fost experimentate cinci tehnologii pentru realizarea elementelor spațiale: asamblarea din panouri, turnarea amolită în sistem pahar, clopot și pahar culcat și alcătuirea cu structură din stâlpi și planșee. Între anii 1962 - 1976 s-au experimentat și îmbunătățit tehnologiile de fabricație și sistemele constructive, s-au realizat peste 20 de fabrici de elemente spațiale și un număr important de clădiri de locuit, hoteluri, spitale, case de odihnă etc., cu 5 pînă la 9 niveluri, amplasate în zone de gradul 6, 7 și 8 de protecție anti-seismică.

În acțiunea de tipizare deschisă - obiect al tipizării nu este clădirea în întregime ci elementele și îmbinările acestora - inițiată în U.R.S.S. în anul 1975, au fost tipizate două sisteme de elemente spațiale și tehnologiile aferente: sistemul pahar culcat (Krasnodar, Seol, Nicolaev, Piatigorsk, Gulikoviți etc.) și sistemul clopot (Minsk, Arznaning, Debarovsk, Vologda, Fîdneprovsk, etc.) [143]. Elementele spațiale au de regulă în sistemul pahar culcat, planșeul de pardoseală și pereții alcătuiți din plăci cu fețele exterioare nervurate iar tavanul dintr-o placă netedă, în sistemul clopot se realizează, de regulă, numai plăci de pardoseală nervurate [34, 143]. În ambele tehnologii, interiorul „clopotului” sau al „paharului culcat” se realizează cu un miez (tipar) rigid avînd secțiunea variabilă, care se extrage forțat la deco-

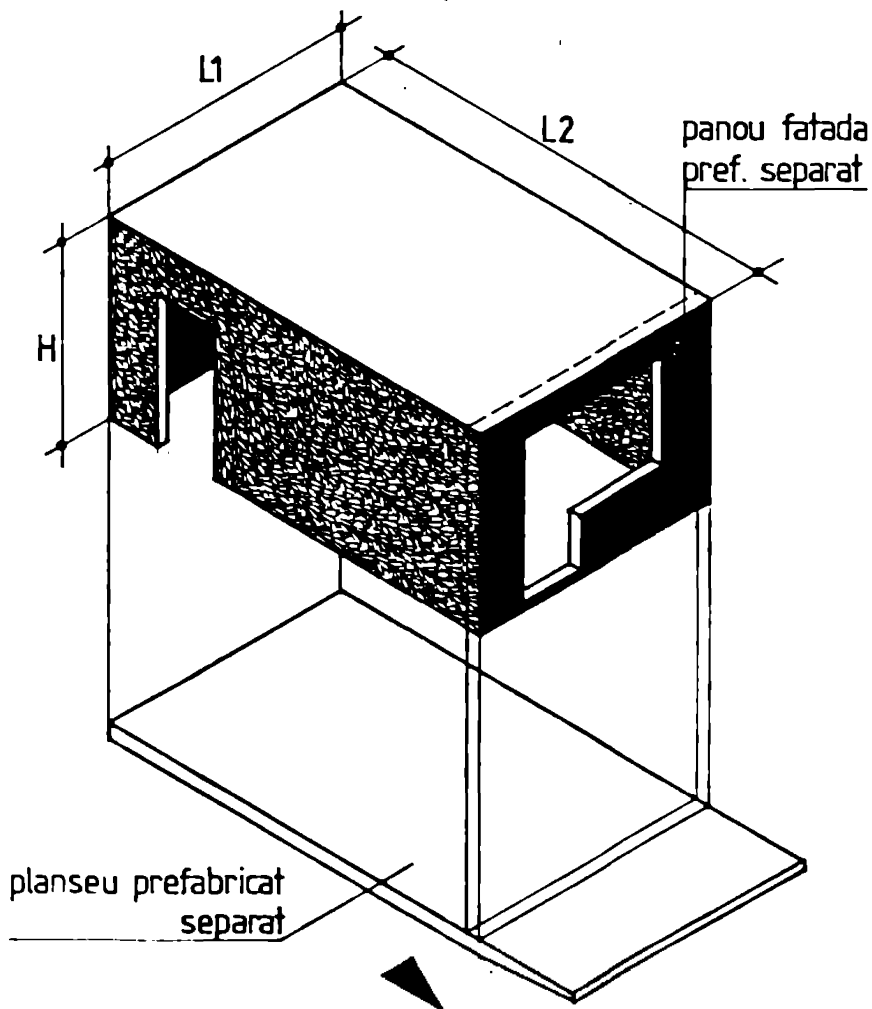
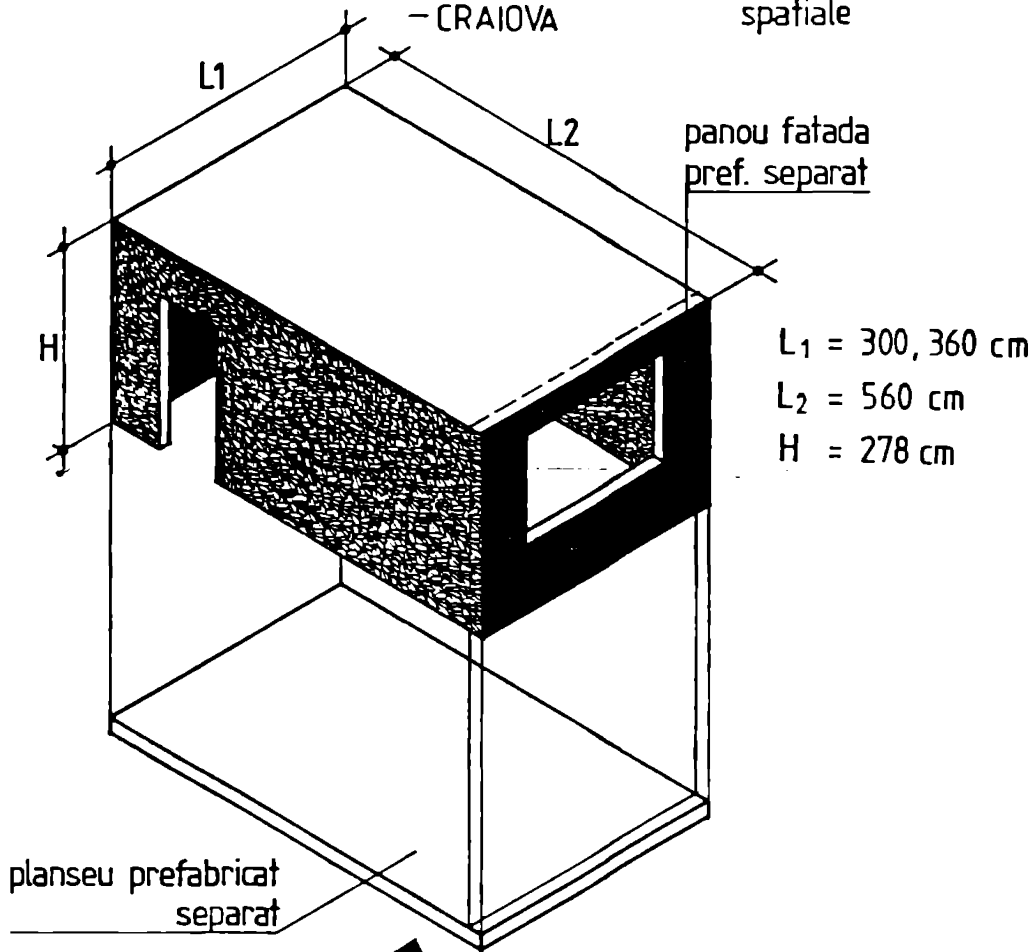


L1(cm) = ...420
L2(cm) = 600...1800
Greutate (to) = 25...60
Nr nivele = ... 22

Fig. 2.5 SISTEMUL SHELLEY

534-509
335 G

Fig. 2.6 SISTEMUL CLOPOT - Craiova - Exemple de alcătuire a elem. spatiale



frare, rezultând în cazul clopotului pereții cu grosime variabilă (extragerea miezului se face pe verticală), iar în cazul peharului culcat, pereții laterali și planșeele cu grosime variabilă (extragerea miezului se face pe orizontală). Schema de rezonanță a elementelor suprapuse este în majoritatea cazurilor liniară și mai rar pe patru colțuri (Minsk, Pridneprovsk). La elementele spațiale se folosește cu prioritate betonul ușor cu agregate din keramzit (grădilit) și agloporit. Clădirile având până la 9 niveluri, amplasate în zone cu seismicitate redusă (gradul maxim 6), se realizează din stive simple, fără legături verticale între elementele suprapuse, elementele din stive alăturate fiind îmbinate, în plan orizontal, la nivelul planșeeilor de tavan, cu placuțe metalice sudate sau cu bare din oțel beton, ca în fig. 3.7.

În anul 1976 se construiesc și clădiri cu 12 niveluri alcătuite integral din elemente spațiale, și au fost elaborate proiecte pentru clădiri cu 16 niveluri. Pentru clădirile cu 12 niveluri realizate în orașul Krasnodar s-a folosit un singur modul spațial (324 x 540 - 275 cm), de tip pehar culcat, din beton armat ușor (1600 kg/m³) marca B.250; planșeul de pardoseală și pereții longitudinali sînt alcătuiți din plăci subțiri de 5 cm grosime cu nervuri la fața exterioară, amplasate la loc cu interax, iar planșeul de tavan este o placă cu fețe netede de 7 cm grosime [185] .

La Soci s-a realizat complexul de odihnă și turism „Stevropolie” avînd un corp de cazare cu 25 de niveluri, alcătuit dintr-un nucleu de beton armat monolit cu planșee în consolă, pe care se rezază corpuri de oțel pentru niveluri de elemente spațiale [34] .

În anul 1964 a fost pusă în funcțiune la Tashkent, o uzină de elemente spațiale pentru clădiri cu 9 niveluri amplasate în zone seismice de gradul 9, și au fost realizate primele construcții; elementele spațiale sînt îmbinate în clădire cu monolitizări continue de beton armat, verticale și orizontale, de tipul celor prezentate în fig. 3.9. a, b, c. [119] .

Tendința actuală în U.R.S.S. este dezvoltarea în cadrul fabricilor existente de panouri mari a unor secții de fabricație a elementelor spațiale cu volum mare de instalații și finisaje (bucătării, bai cu dormitoare, case de scară, puturi de lift), pentru realizarea de construcții mixte - din panouri mari și elemente spațiale - și trecerea progresivă a acestor fabrici la producția de elemente spațiale [34] . La începutul anilor '80 capacitatea totală de producție a celor peste 25 de fabrici în funcțiune era de circa 2 milioane m² aria desfășurată de construcții din elemente spațiale.

2.2. SISTEME DE CONSTRUCȚIE CU ELEMENTE SPAȚIALE APLICATE ÎN R. S. ROMANIA.

2.2.1. Generalități.

În anii 1961 - 1962 au fost experimentate la Onești primele elemente spațiale de tip pahar, având înălțimea camerelor, iar în anul 1963 a fost realizată, din aceste elemente, o clădire de locuit cu trei nivele și 12 apartamente [7].

În aceeași perioadă (1962) s-a experimentat la INCARC un element spațial din beton arast cu agregate de granulație, având dimensiunile de 3,60 x 12,0 - 2,90 m, alcătuit din planșeele de pardoseală și tavan, nervurate la fața exterioară și patru pereți de 5 cm grosime, cu fețe rotunde, rigidizate pe colțuri cu bulbi [92].

La București s-a construit, în anul 1963, după un proiect elaborat de I.P.C.T., o clădire de grădiniere, din elemente spațiale tip cutie asamblate din panouri nervurate [7].

Activitatea din Brașov, în domeniul prefabricării cu elemente spațiale, a început în anul 1969, când a fost pusă în funcțiune, la I.C.I.M., prima instalație de formare a unor elemente spațiale tip inel (fig. 2.1.2), [103, 20]. Tehnologia de fabricație și sistemul constructiv al clădirilor au fost puse la punct, prin perfecționări succesive aduse instalațiilor de formare și modului de alcătuire a elementelor spațiale și a îmbinărilor.

Începând cu anul 1972, preocupările în domeniul construcțiilor din elemente spațiale s-au concentrat în direcția realizării acestora în fabrică, sub formă de camere închise, echipate cu toate instalațiile și complet finisate. S-au dezvoltat, în paralel, două sisteme de construcție: sistemul I.C.I.M. Brașov, cu elemente spațiale tip pahar calcat și sistemul C.M.C. - I.C.P.M.C. Iași, cu elemente spațiale tip clopot. În acest sens, în anul 1978, I.C.P.M.C., din cadrul M.I.L.M.C., a experimentat, în colaborare cu Institutul de Construcții și Arhitectură, un element spațial deschis („flexibil”), (fig. 2.1.C) de dimensiuni mari (290 x 870 - 290 cm) pentru clădiri școlare [74, 75]. Institutul I.C.P.M.C. Iași a început în anul 1978, în colaborare cu I.C.P.M.C. București, proiectarea și experimentarea sistemului „Iași”, bazat pe elemente spațiale tip clopot [111].

2.3.2. Sistemul I.C.I.M. de construcție cu elemente spațiale tip inel [101, 102, 20].

Conform acestui sistem, elementele spațiale sînt constituite din doi pereți și două planșee, turnate monolit, într-o instalație

rotitoare, pereții și planșeele sînt alcătuite din plăci subțiri de 4-5 cm grosime, rigidizate la fața exterioară cu nervuri (fig.2.1.) Instalația asigură prin rotirea tiparelor, turnarea succesivă a pereților în poziție orizontală. Structurile sînt alcătuite din elemente spațiale, combinate cu penouri de pereți și eventual, de planșee, îmbinate cu monolitizări continue, de beton armat, verticale și orizontale (fig. 3.9 a., e.). Compartimentările se realizează cu penouri din materiale ușoare. Prin turnarea betonului de monolitizare în spațiile închise de nervurile marginale, se obțin elemente mixte, sub formă de stâlpi și grinzi [143, 20]; suprafețele de contact prefabricat-îmbinare monolita sînt prevăzute cu amprente și armături de cusătură, pentru asigurarea conlucrării miezului monolit cu nervurile prefabricate.

Perfecționarea sistemului constructiv a fost posibilă ca urmare a aplicării rezultatelor cercetărilor teoretice și experimentale, efectuate de către Catedra de beton armat și clădiri a Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, asupra elementelor spațiale și asupra îmbinărilor acestora, considerate ca elemente mixte. Louă aspecte au fost hotărîtoare [143, 144]:

a) - stestarea comportării pereților subțiri de 4-5 cm grosime, rigidizați cu nervuri, ca diafragme și,

b) - determinarea gradului de conlucrare a nervurilor prefabricate cu miezul monolit în cadrul elementelor mixte și stabilirea secțiunilor armăturilor de cusătură și a amprentelor, precum și distribuția acestora pe suprafețele de contact prefabricate - miez monolit, în vederea asigurării comportării elementelor mixte ca elemente omogene.

În acest sistem a fost realizat, în perioada 1969 - 1976, un număr important de clădiri, în majoritate cu 5 niveluri, avînd diferite funcțiuni (locuințe, cămine de defamiliști, anexe social-industriale) și însumînd o arie desfășurată de 116.400 m² (circa 1.600 apartamente echivalente).

2.3.3. Sistemul I.C.I.M. de construcție cu elemente spațiale tip pșar culcat [104, 10, 21, 24].

Elementele spațiale, de tip pșar culcat (fig.2.7.), (2.1.3.F) se realizează într-o instalație, alcătuită din două seturi de tipere exterioare și un miez de formare, amplasat coaxial între acestea, care servește la turnarea alternativă a elementelor spațiale în cele două seturi [104, 105].

Procedeeul de fabricație a elementelor spațiale finisate, cu folosirea instalației de formare, comportă, în principal următoarele-

le operații :

- a) - montarea carossei spațiale de armare într-un set de tipare exterioare ;
- b) - turnarea planșoului de pardoseală ;
- c) - deplasarea miezului în poziția limită de formare a elementului spațial ;
- d) - turnarea a trei pereți și a planșoului de tavan ;
- e) - întărirea betonului ; se folosesc procedee de accelerare a întăririi (tratamente termice, aditivi acceleratori de întărire, superplastifianți etc.) ;
- f) decofrarea miezului și deplasarea lui în al doilea set de tipare exterioare ;
- g) - montarea panoului de fașadă (fig. 3.1.c, d, f) ;
- h) - decofrarea elementului și transferarea lui pe linii specializate de echipare cu pereți ușori de compartimentare, instalații și finisaje (fig. 2.8.).

Instalația și procedeul de formare asigură realizarea de elemente spațiale monolite, prin turnarea continuă a trei pereți și două planșee. Instalația este reglabilă pentru turnarea de moduri spațiali cu lățimi, lungimi și grosimi de pereți, diferite.

Elementele spațiale au fost proiectate pentru clădiri cu 5 niveluri, amplasate în zone seismice cu grad de protecție 7. Au fost adoptate două variante de alcătuire :

- a) - planșoul de pardoseală și pereții din plăci subțiri de 5 cm grosime cu nervuri la fața exterioară ; planșoul de tavan dintr-o placă cu fețe netede de 7 - 9 cm grosime ;
- b) toate cele cinci fețe din plăci subțiri, netede, având grosimea de 7 - 9 cm ;

În ambele variante, peretele de fașadă este alcătuit dintr-un panou termoizolator, asamblat pe elementul spațial cu plăcuțe metalice sudate (fig. 3.1. e, d, f).

Elementele de casa scării se obțin prin montarea în elementele spațiale curente, prevăzute cu golurile respective în planșee, a prefabricatelor specifice : grinzi de vâng, panouri de podest, trepte, contratrepte (fig. 2.7.). Instalația și procedeul de formare permit realizarea de elemente spațiale cu goluri mari în pereți, alcătuite ca în fig. 3.3.. Dintr-un studiu de modulară, elaborat în vederea folosirii elementelor spațiale la o gamă variată de funcțiuni (locuințe, hoteluri, anexe social-industriale, construcții școlare etc.), au rezultat modulele spațiale indicate în tabelul din fig. 2.7.

SISTEMUL PAHAR CULCAT
ICIM BRAȘOV

EXEMPLE DE ALCATUIRE A
ELEMENTELOR SPATIALE

- ① panou de fatoda
- ② grinda
- ③ panou de podest
- ④ grinda de vang
- ⑤ treapta
- ⑥ contratreapta
- ⑦ placuta metalica

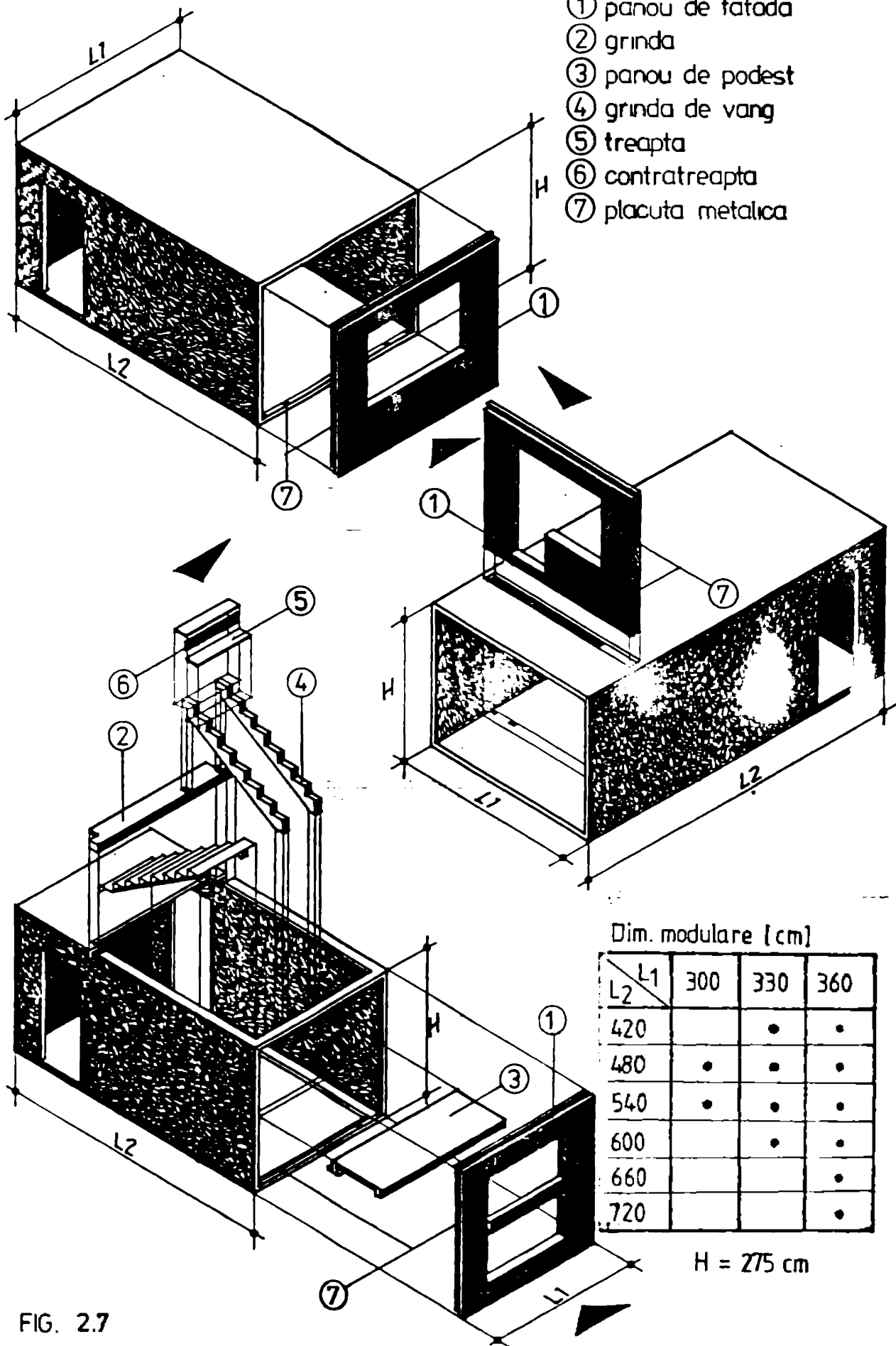


FIG. 2.7



Fig. 2.8 Sistemul ICIMBv. - Linii de finisaj.



Fig. 2.9
Sistemul ICIM Bv.
Fază de montaj.

În primă etapă, 1973 - 1976, îmbinarea elementelor spațiale în structura clădirilor, s-a făcut cu monolitizări continue, de beton armat, verticale și orizontale, de tipul celor prezentate în fig. 3.9. a, b, c. În anul 1977 au fost adoptate soluții specifice de alcătuire a structurilor (din stive și colțane de elemente spațiale), cu îmbinări uscate, mult simplificate (fig. 3.5; 3.6 a,b; 3.7.a).

În acest sistem au fost realizate clădiri în majoritate cu 5 niveluri, reprezentând locuințe, hoteluri, spitale, anexe social-industriale, amplasate în zone seismice cu gradul 7 de protecție (Bragov, Covasna, Arad) și însumând circa 400.000 m² arie desfășurată (circa 5.000 apartamente).

2.3.4. Sistemul C.A.C. - I.C.P.H.C. (Cluj) [23, 28, 169].

Conform tehnologiei de fabricație realizarea elementelor spațiale comportă, în principiu, următoarele operații :

- a) montarea în instalația de formare a panoului de fațadă și a carcsei de armare;
- b) turnarea a trei pereți și a planșoului de tavan ;
- c) întărirea betonului (se folosesc acceleratori);
- d) decofrarea clopotului și deplasarea lui la postul de completare cu panoul de pardoseală ;
- e) asamblarea clopotului prin legături sudate, pe planșoul de pardoseală (fig. 3.2. b, d);
- f) echiparea elementelor spațiale cu compartimentări ușoare, instalații și finisaje, pe linii specializate.

Uscul instalației de formare se decofrază prin rebatarea tiparelor pentru pereți, care sînt prinse cu legături flexibile în lungul muchiilor de recordare cu tiparul de tavan, asigurîndu-se pereți cu secțiune constantă.

Elementele sînt alcătuite din plăci subțiri cu fețe netede avînd grosimea de 7 cm la pereți și planșoul de tavan și de 10 cm la planșoul de pardoseală (fig.2.b.). Se folosesc la clădiri de locuit cu 5 niveluri amplasate în zone seismice de gradul 7,5 de protecție.

Îmbinările elementelor spațiale în construcție se realizează prin turnarea unor monolitizări verticale în spațiile rezultate prin tăierea muchiilor, în care se introduc arături din oțel beton, sau oabluzi posttensionate și cu legături orizontale, din bare de oțel beton sudate pe plăci metalice înglobate în colțurile elementelor, la nivelul planșoanelor de tavan.

În sistemul Clujov se fost construite după 1974 clădiri de locuit însumînd circa 3.000 apartamente.

2.3.5. Sistemul Iasi [111, 28, 157].

Elementele spațiale se realizează în tehnologie clopot. Decobirea față de sistemul Craiova constă în faptul că clopotul este alcătuit din planșeul de tavan și patru pereți turnați monolit; pe pereții de față se atașează panouri termozolotoare. Pereții clopotului au secțiune variabilă la interior de la 9 la 7 cm pentru decobirea micșului. Planșeul de pardoseală este o placă de 4 cm grosime cu nervuri la fața exterioară. Elementele spațiale sînt proiectate pentru clădiri de locuit cu 5 niveluri, amplasate în zone seismice de gradul 7,5. Îmbinările verticale între elementele suprapuse sînt prevăzute din bază de oțel beton înglobate în pereți, sudate pe urabile de ridicare, ancorate în calțurile elementelor, iar îmbinările orizontale, între elementele alăturate, din colize de oțel beton sudate pe plăci metalice înglobate pe calțurile acestora, la nivelul planșeelor de tavan.

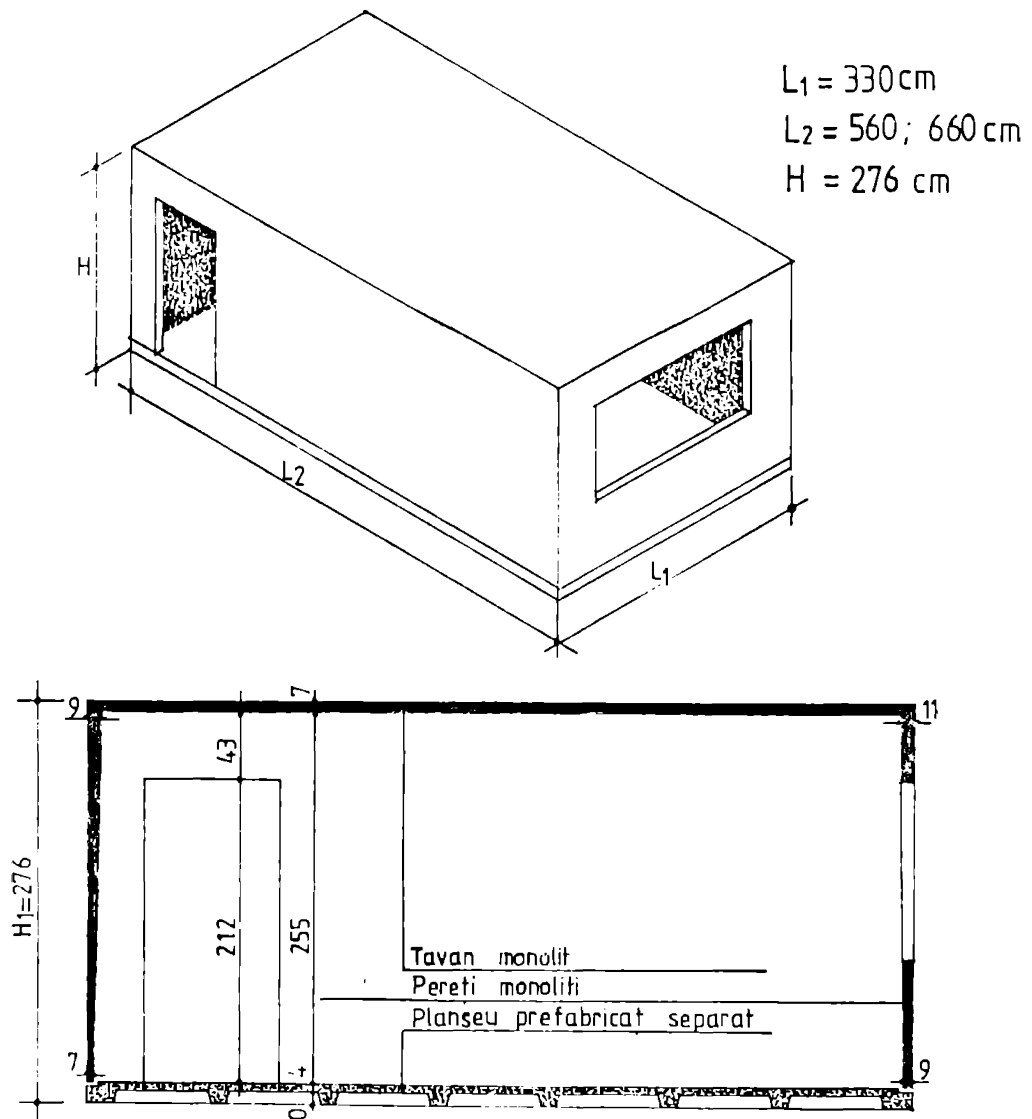


FIG. 2.10 SISTEMUL IASI

3. PARTICULARITĂȚI LA PROIECTAREA ȘI REALIZAREA UNUI SISTEM DE CONSTRUCȚIE CU ELEMENTE SPAȚIALE

3.1. CONCEPTUL DE MODULARITATE.

Pentru proiectarea și realizarea unui sistem de construcție cu elemente spațiale sînt necesare, în primul rînd, temeinice studii de modularizare. În cadrul clădirilor, elementele se vor încadra într-o rețea modulară spațială.

Dimensiunile modulare ale unui element, într-un sistem de axe triortogonale formează modulul spațial. Dimensiunile modurilor spațiale și seria acestora, sînt stabilite, cu respectarea prescripțiilor de modularizare în construcții, în baza următoarelor principii:

- a) - fiecare modul spațial să ofere cit mai multe posibilități de rezolvări funcționale ;
- b) - într-o anumită clădire să se folosească un număr minim de moduli spațiali.

Proiectarea tiparelor și a instalațiilor de formare se face pentru seria acceptată de moduli spațiali.

Brevetarea, în cadrul proiectării sistemului, a posibilităților de amplasare a pereților ușori de compartimentare și a colurilor de uși, ferestre, în orice poziție, cu respectarea unor condiții minime, asigură rezolvări funcționale multiple în același modul spațial.

Stabilirea dimensiunilor nominale ale elementelor spațiale se face în baza preciziei de fabricație și montaj, prevăzută în descripții, sau caiete de sarcini și verificată experimental.

Adeptarea conceptului de modularitate asigură tipizarea și industrializarea avansată a elementelor spațiale.

Seria de moduli spațiali, pentru sistemul I.C.I.M., este indicată în fig. 2.7.

3.2. ALCATUIREA ELEMENTELOR SPAȚIALE.

În cadrul sistemelor A, B, C, D, E, F, prezentate la 2.1.3, elementele spațiale sînt alcătuite, în general, în următoarele soluții :

- a) - planșoul de pardoseală : placă cu fețe netede sau cu nervuri, la fețe exterioară, amplasate transversal sau, transversal și longitudinal ;
- b) - planșoul de tavan : de regulă, placă plană, cu fețe netede ;
- c) - peretii interiori (peretii elementelor spațiale, care

in cladire, sînt amplasați la interiorul acestora): plăci plane cu fețe netede sau plăci cu rigidizări la față exterioară (rigidizări pe contur, rigidizări în jurul golurilor, nervuri verticale, bulbi etc).

d) - pereti exteriori (pereti elementelor spațiale care, în cladire, sînt amplasați la exteriorul acestora) :

- . panouri termoizolante, portante sau de rigidizare, asamblate pe elementul spațial, cu una din soluțiile de înbinare prezentate în fig. 3.1-3.3

- . pereți, alcătuiți ca la c), pe care se atacează, în fabrică sau pe șantier, panouri termoizolante suplimentare sau termoizolație din materiale ușoare ;

- . pereți nestructurali din materiale ușoare.

În cazul soluțiilor cu plăci nervurate, sensibile la fisurarea provocată de tensiunile interioare, din contracția și variațiile de temperatură ale betonului tratat tardiv, este necesar ca prin alcătuirea și exploatarea tiparelor să se asigure evitarea fisurării. (de ex. realizarea tiparelor din tronsoane cu rosturi de contracție-dilatație, convenabil stabilite, în funcție de poziția nervurilor).

o caracteristică importantă a elementelor spațiale este alcătuirea lor din plăci subțiri. Evoluția sistemelor de construcție cu elemente spațiale a fost condiționată, printre altele, de posibilitățile tehnologice de turnare a unor pereți subțiri și de realizarea cercetărilor, teoretice și experimentale, prin care să se ateste rezistența și stabilitatea acestor pereți [24, 130, 116]. În cadrul acestor sisteme, s-au realizat, curent, structuri din elemente spațiale cu pereți portanți avînd raportul între înălțimea (H) și grosimea (h) de la 35 la 40 și chiar 50. (de exemplu sistemul francez SIGMA folosește pereți cu grosimea $h = 5$ cm și înălțimea $H = 250$ cm [1]).

În funcție de sistemul de alcătuire (2.1,3), panourile prefabricate, care intră în compoziția elementelor spațiale, se asamblează în structura acestora, în următoarele soluții :

- a) - monolitizări continue, din beton armat, pe conturul panourilor (fig. 3.1, 3.2 variantele 2);

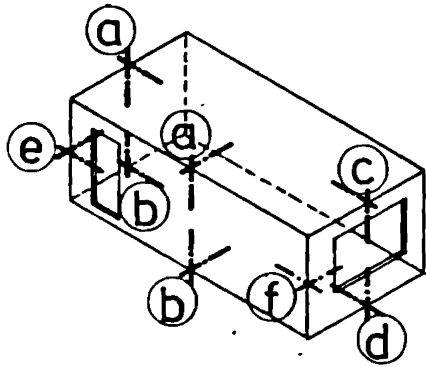
- b) - monolitizări discrete, distribuite pe conturul panourilor ;

- c) - legături cu piese metalice sudate (plăcuțe metalice, bucle din oțel beton etc. fig. 3.1., 3.2 variantele 1);

- d) - legături cu buloane (fig. 2.3.); buloanele pot fi tensionate pentru introducerea unor compresii permanente pe suprafețele

Fig. 3.1 SISTEMUL PAHAR CULCAT.

EXEMPLE PENTRU DETALII DE ALCATUIRE A ELEMENTULUI SPATIAL.



1- perete ; 2- planșeu de pardoseală ; 3- planșeu de tavan ; 4- panou de fațadă (prefabricat separat) ; 5- piese metalice înglobate ; 6- armături de cusătură ; 7- alveole ; 8- plăcuță metalică ; 9- sudură ; 10- mortar ; 11- armături din otel beton ; 12- colțar din otel beton ; 13- beton de monolitizare ; 14- termoizolație.

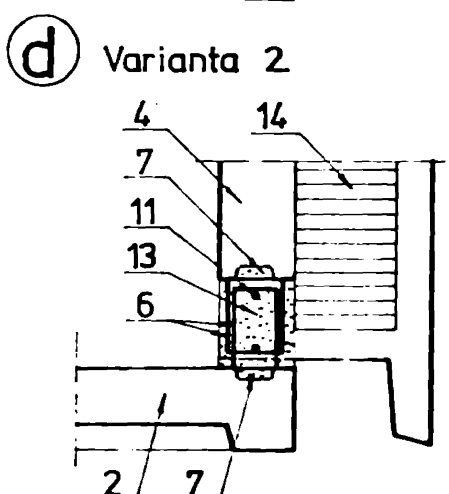
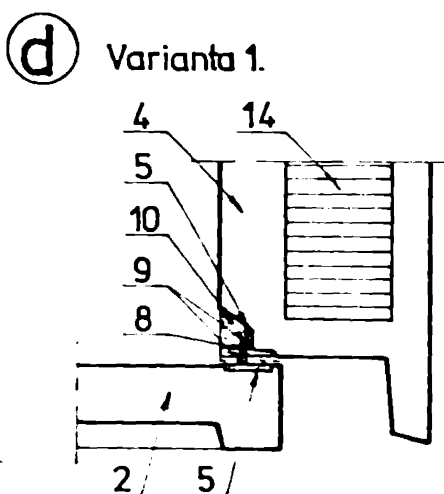
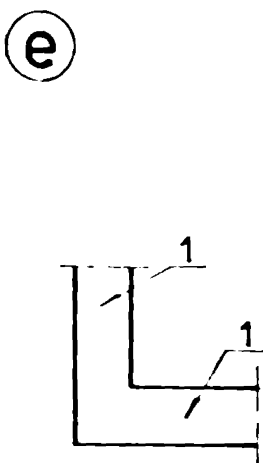
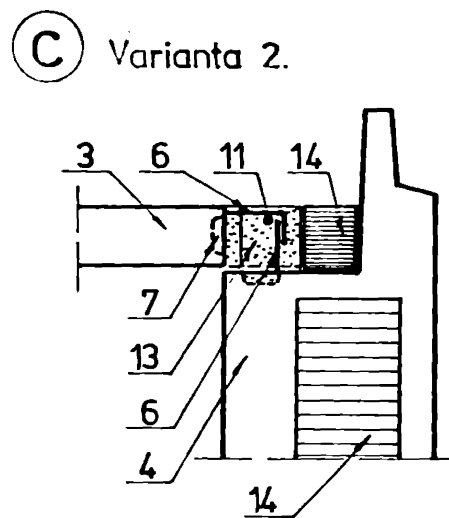
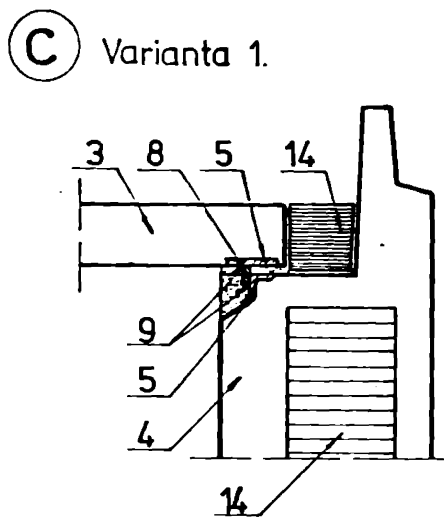
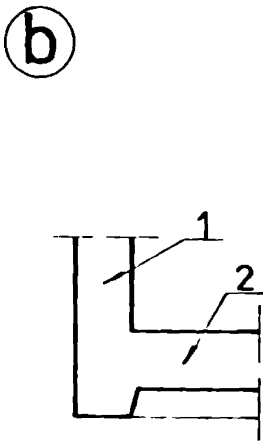
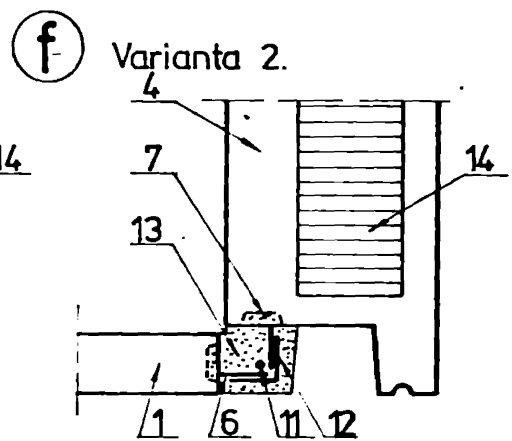
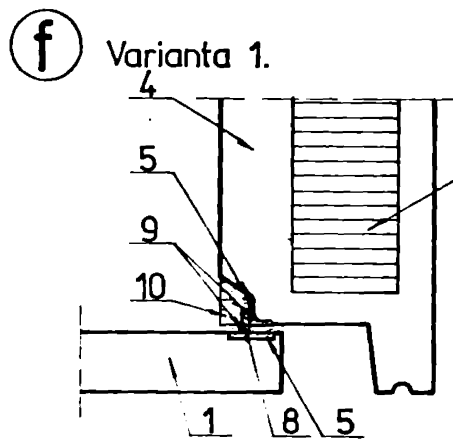
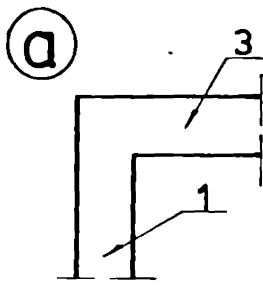
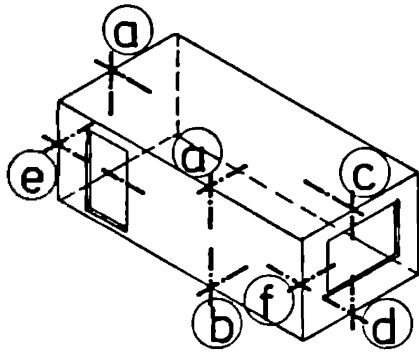
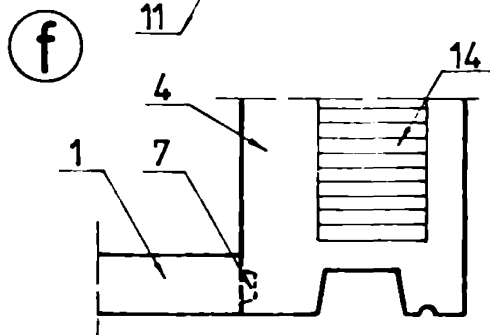
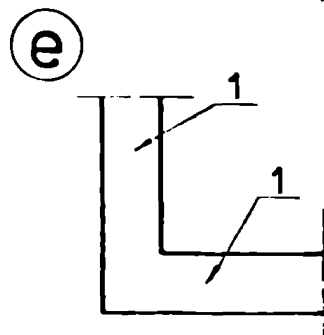
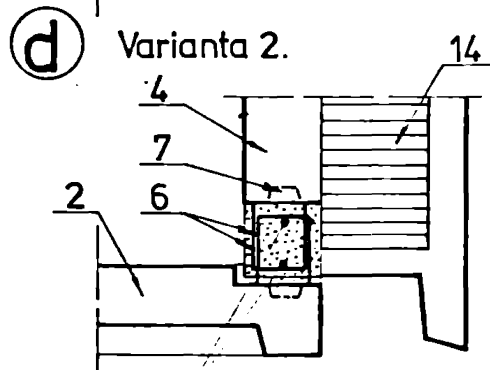
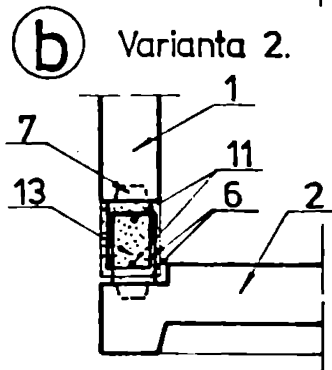
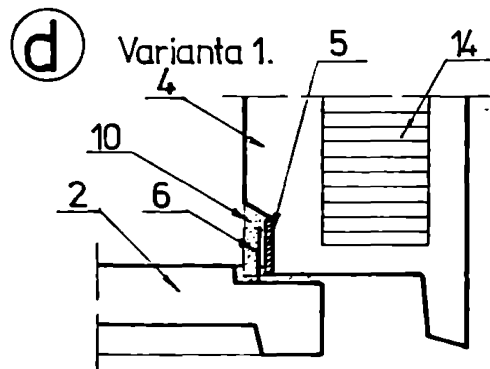
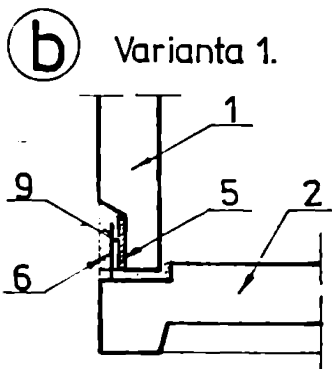
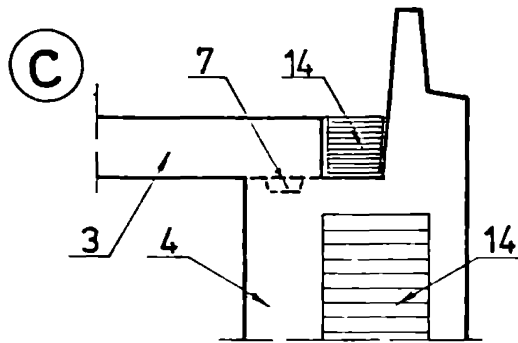
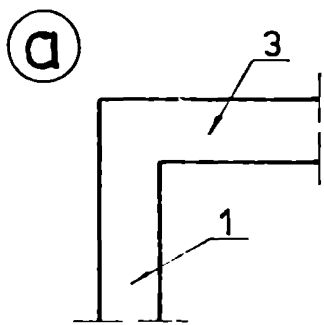


Fig. 3.2 SISTEMUL CLOPOT.
EXEMPLE PENTRU DETALII DE ALCATUIRE A
ELEMENTULUI SPATIAL.



1 - perete ; 2 - planșeu de pardoseală ;
3 - planșeu de tavan ; 4 - panou de
fațadă (prefabricat separat) ; 5 - piese
metalice înglobate ; 6 - armături de cusă-
tură ; 7 - alveole ; 9 - sudură ; 10 - mor-
tar ; 11 - armături din oțel beton. ; 13 -
beton de monolitizare ; 14 - termoizolație.



în contact, în vederea transmiterii forțelor tăietoare prin frecare.

În cazurile b), c), d), rosturile pe conturul penurilor sînt umplute cu mortar de ciment.

Amplasarea golurilor de trecere, pentru uși și ferestre, sau a golurilor mari, se face cu asigurarea, pe muchiile verticale ale elementelor, a unor montanți cu secțiuni corect proporționale (fig. 2.3, 3.3.); în [1] și [29] sînt recomandate prevederile de alcătuire și secțiunile minime ale acestora.

Prefabricatele spațiale sînt prevăzute, la formare, cu piese metalice pentru ridicare și elemente necesare îmbinărilor :

- a) - buloane, bucle ancorate, etc. (fig. 2.3, 3.5) ;
- b) - plăci metalice, bucle sau mustați din oțel beton (fig. 3.7, 3.8, 3.9) ;
- c) - nervuri convenabil amplasate pentru închiderea spațiilor necesare îmbinărilor de monolitizare [103, 104], (fig. 3.9) ;
- d) - suprafețele profilate (cu alveole și praguri) pentru asigurarea coeziunii prefabricat - monolitizare ;
- e) - profiluri perimetrice, amplasate la partea superioară și la partea inferioară, sub formă de borduri care se interpenetrează la suprapunerea în cladire. [24], (fig. 3.6) ;
- f) - ecusoane pentru rezemarea unor penouri de planșeu (fig. 3.8.) ;

Arzarea părților turnate monolit ale elementelor spațiale se face, de regulă, cu carcasa spațială alcătuită prin asamblarea din carcasa plană, carcasa încovălită din plase sudate, plase sudate și bare. În general toate piesele metalice înglobate sînt fixate pe carcasa spațială de armare.

În cazul elementelor spațiale cu pereți subțiri, abaterile la caracteristicile geometrice care se produc la fabricație, precum și abaterile de montaj, au ca efect eforturi și deformații suplimentare, semnificative, ale căror valori depind de mărimea abaterilor admisibile; urmare experimentărilor numerice efectuate, (5.3.2) se recomandă limitarea abaterilor admisibile la nivele mai mici decît cele prevăzute în [24, 29], (și sproprietăți de toleranțele prevăzute la sistemele prezentate la 2.2.1, 2.2.3, 2.2.4), după cum urmează :

- abateri limită dimensionale :
 - înălțime element, grosime pereți 1/2 mm ;
 - lungime, lățime 1/3 mm ;
- abateri limită de la perpendicularitate a fețelor, profilelor, muchiilor 3 mm

- abateri de la paralelism a fețelor,
 profilelor, muchilor 3 mm

3.3. ALCAȚUL SA STRUCTURILOR DIN ELEMENTE SPAȚIALE

Structurile clădirilor se realizează prin asamblarea elementelor spațiale portante - combinate eventual cu panouri - cu legături care le ancorează în conlucrarea spațială; structurile au, în general, o formă regulată, constituită din câteva tipodimensiuni de elemente, care se repetă sistematic.

Alcătuirea structurilor se face din componente specifice acestui sistem constructiv, definite în continuare.

a) Prin simpla suprapunere a elementelor spațiale se obține o structură cu o capacitate de rezistență și stabilitate proprie care a fost denumită stivă.

b) Un șir de elemente spațiale suprapuse înbinat cu legături verticale pentru preluarea întinderilor în rosturile orizontale, formează o coloană elementară.

c) Două sau mai multe coloane elementare alăturate, asociate mecanic prin înbinarea muchiilor verticale, cu legături pentru preluarea forțelor tăietoare în rosturile verticale formează o coloană complexă.

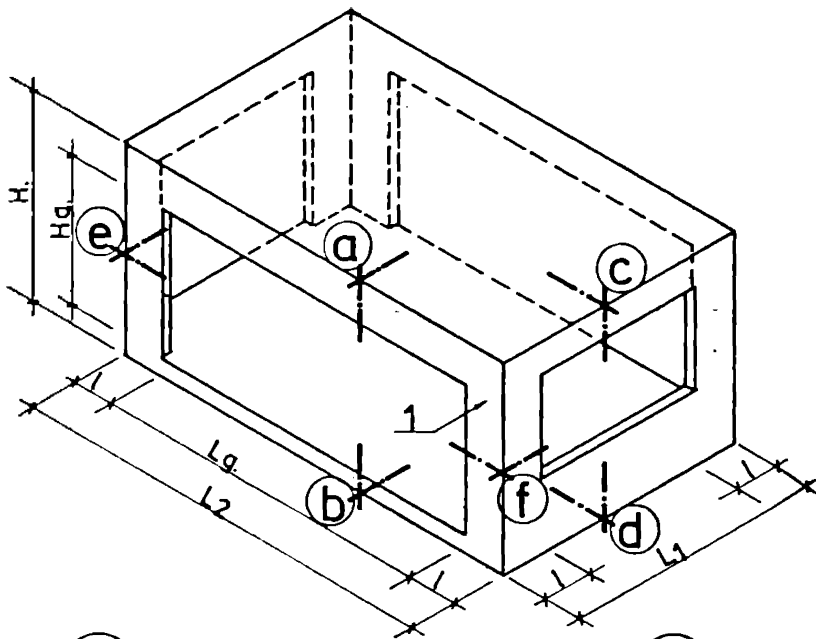
Stivele, coloanele elementare sau cele complexe pot fi amplasate, în cadrul clădirii, alăturat sau distanțate - spațiile libere fiind ocupate cu panouri de planșeu - în cazul structurilor mixte.

Stivele nu pot prelua eforturi verticale de întindere în rosturile orizontale; în cazul asigurării la lunecare în aceste rosturi (prin frecare, înbinări cu praguri, borcuzi perimetrice, sau alte sisteme, fig. 3.6), stivele pot prelua eforturi din efectul combinat al încărcărilor gravitaționale și orizontale, până la starea limită de stabilitate a poziției (răsturnare), (fig. 5.66) în acest caz se consideră că stările limită de rezistență și de stabilitate a formei nu sînt depășite.

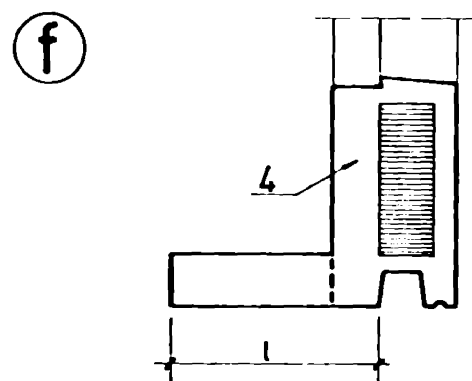
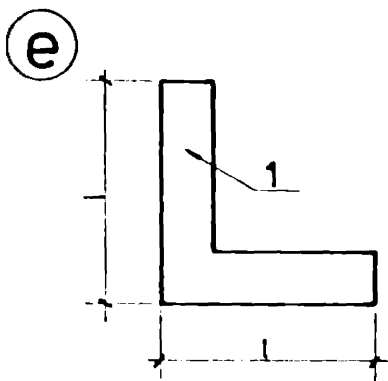
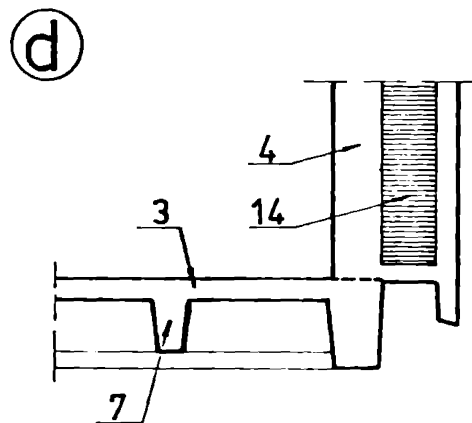
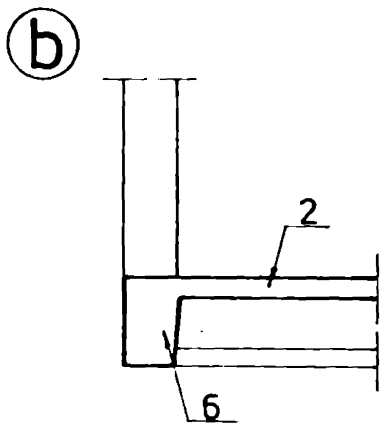
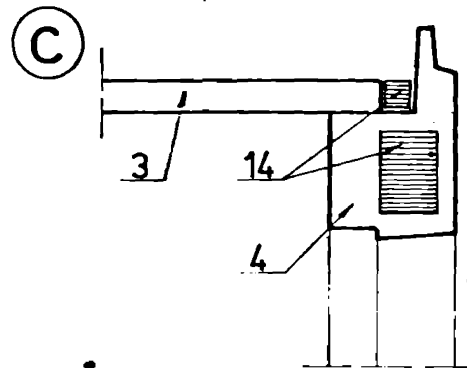
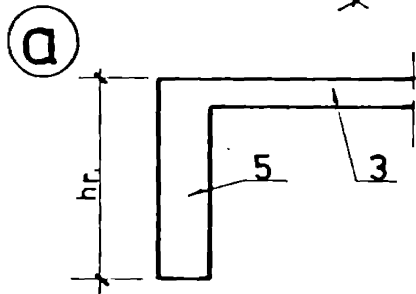
Componentele structurale sînt conectate în cadrul clădirii, de regulă, cu legături amplasate la nivelul planșeelor, care preiau eforturi axiale și forțe tăietoare în rosturile orizontale.

În funcție de înălțimea clădirilor, gradul de intensitate seismică și amplasamentelor, natura și rezistența terenului de fundare, structurile clădirilor pot fi alcătuite din stive, coloane elementare, coloane complexe, sau prin combinații între acestea (fig. 3.4).

Fig. 3.3 EXEMPLU DE ALCATUIRE A UNUI ELEMENT SPATIAL CU GOLURI MARI IN PERETI.



- 1-montant ;
- 2-planșeu de pardoseală ;
- 3-planșeu de tavan ;
- 4-panou de fațadă
(prefabricat separat) ;
- 5-rigla planșeu tavan ;
- 6-grindă planșeu pardoseală ;
- 7-nervură planșeu pardoseală ;
- 14- termoizolație.



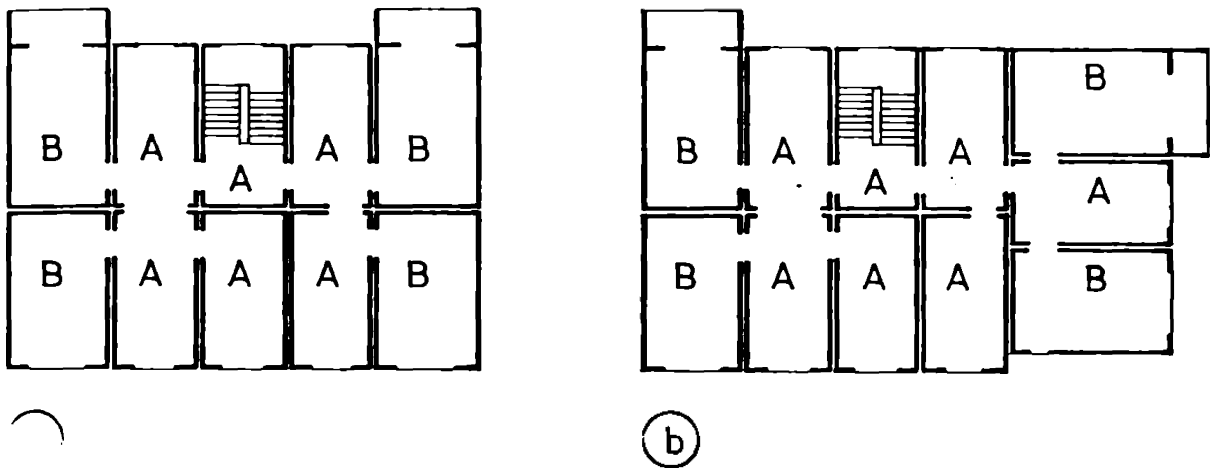


FIG.3.4 Exemple de alcatuire a unor clădiri din elemente spațiale

a,b,d- clădiri de locuit

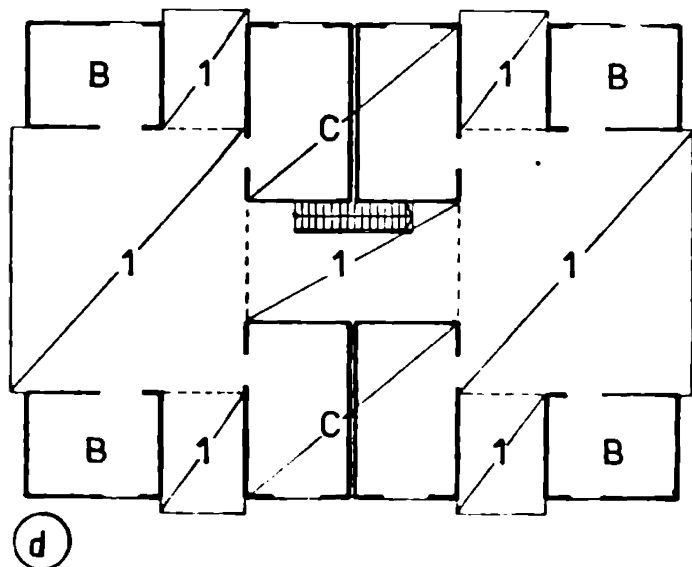
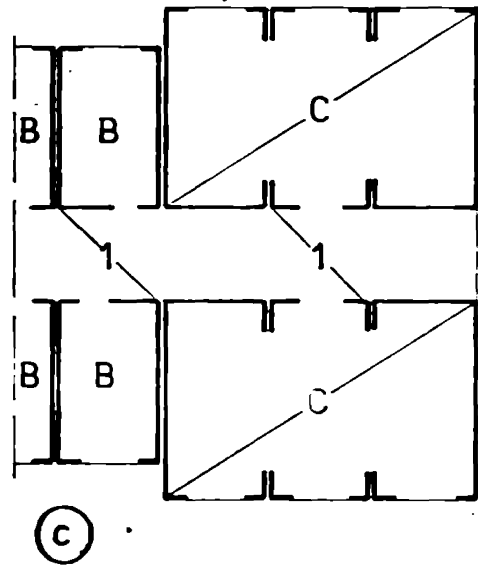
c - școală, clădire administrativă.

A- stivă

B - colană elementară

C - colană complexă

1 - panouri de planșeu



Cesele scărilor, alcătuite din elemente spațiale, nu vor fi amplasate la marginile clădirilor, având în vedere că aceste elemente au goluri mari în planșee, stabilitatea pereților va fi asigurată prin prinderea lor, cu suficiente legături, de elementele spațiale adiacente.

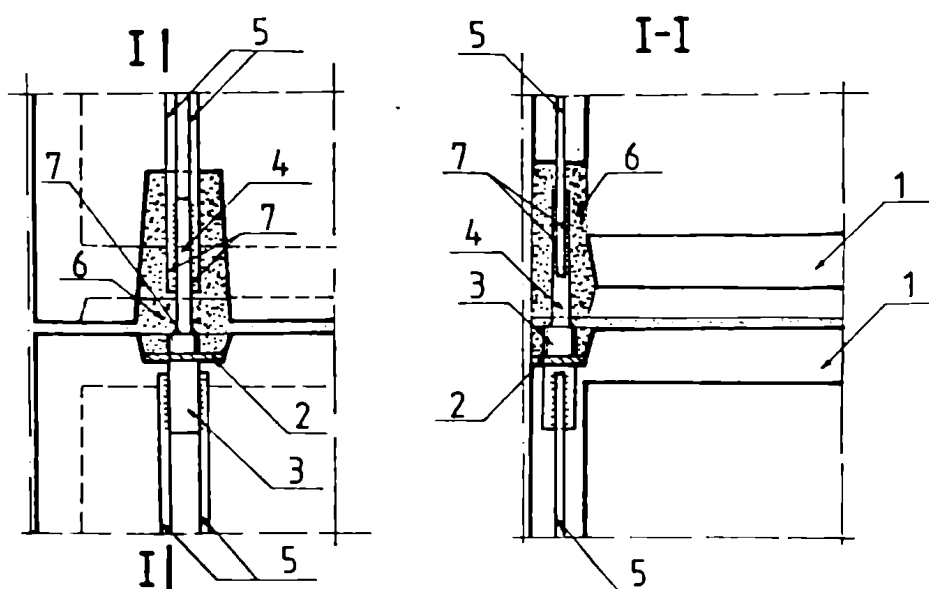
La alcătuirea clădirilor din elemente spațiale, se va pune în valoare posibilitatea oferită de sistemul constructiv, de transmitere convenabilă cu rosturi verticale a acestora în vederea optimizării funcției rezistență-rigiditate.

3.4. ALCĂTUIREA ÎMBINĂRILOR.

Îmbinările sînt legături între elementele spațiale, necesare pentru constituirea componentelor structurale - stive, colone elementare și colone complexe - și legături între aceste componente (eventual combinate cu elemente de planșeu), în vederea constituirii și funcționării structurii de rezistență a clădirii în ansamblul ei.

a) Transmiterea eforturilor verticale de întindere între elementele suprapuse, se poate face, în general, prin adoptarea următoarelor soluții de îmbinare :

a.1. Îmbinări din oțel beton, amplasate în pereții elementelor, concentrate în zonele cu eforturi maxime ; îmbinarea lor între niveluri se realizează cu sudură, sau prin îmbinare (fig. 3.5).



1 element spațial , 2 plăcuță met. înglob. , 3 șurub pentru ridicare ,
4 bară de cont. , 5 armături vert. de cont. , 6 beton de monolit. , 7 sudură

Fig 3.5. Exemplu de îmbinare verticală între elemente spațiale suprapuse

a.2. Îmbinări din oțel beton, prevăzute în îmbinările verticale de mobilizare, în cazul colanelor complexe sau a structurilor complet monolitizate (fig. 3.9).

a.3. Armături posttensionate (bare sau cabluri) introduse în pereții elementelor spațiale sau în secțiunile anelităzării verticale [137, 2d]

a.4. Legături cu buloane, buloanele pot fi posttensionate [68].;

a.5. Îmbinarea cap la cap a barelor de continuitate, având profil periodic, în amănunt de oțel - tratate la interior cu nervuri transversale - în care se toarnă mortar, fără contracție, sau compoziții metalice.

b) Pentru transmiterea forțelor tăietoare între elementele spațiale suprapuse, se adoptă, în general, următoarele soluții de îmbinare.

b.1. Folosirea frecării, pentru cazurile în care efortul tangențial (T) și efortul normal (N), pe unitatea de lungime de rost, îndeplinesc condiția :

$$T_f \leq c_f N$$

unde c_f este coeficientul de frecare edala [29].

b.2. Prevederea suprafețelor de rezonanță cu praguri și alveole care pătrund unele în altele (îmbinări crestate) [29].

b.3. Prevederea pe centura elementelor, la partea superioară și la partea inferioară, a unor profiluri perimetrice sub formă de borcani, care se întrepătrund la suprapunere (fig. 3.6).

b.4. Prevederea unor anelităzări orizontale sub formă de centuri (fig. 3.6 e)

b.5. Introducerea unei compresii permanente, prin precompresiune verticală, în vederea transmiterii forțelor tăietoare prin frecare [2d].

c. Legăturile orizontale între elementele spațiale alăturate necesare constituirii de coloane complete, simple, de regulă, la nivelul planșelor de tavan, se realizează, în general, în următoarele soluții :

c.1. Prevederea unor îmbinări de anelităzare, de beton arcat, continui, sub formă de centuri (fig. 3.7.e), sau concentrate în anumite zone (fig. 3.7.b)

c.2. Prevederea unor îmbinări cu plăci metalice sudate (3.7.a).

c.3. Introducerea unor compresii permanente prin precompresiune orizontală (cu tije, buloane sau cabluri) [68, 94].

d) Îmbinarea muchiilor verticale ale elementelor spațiale alăturate, pentru transmiterea forțelor tăietoare în rosturile verticale și constituirea de coloane complete, se face, de regulă, prin adoptarea următoarelor soluții :

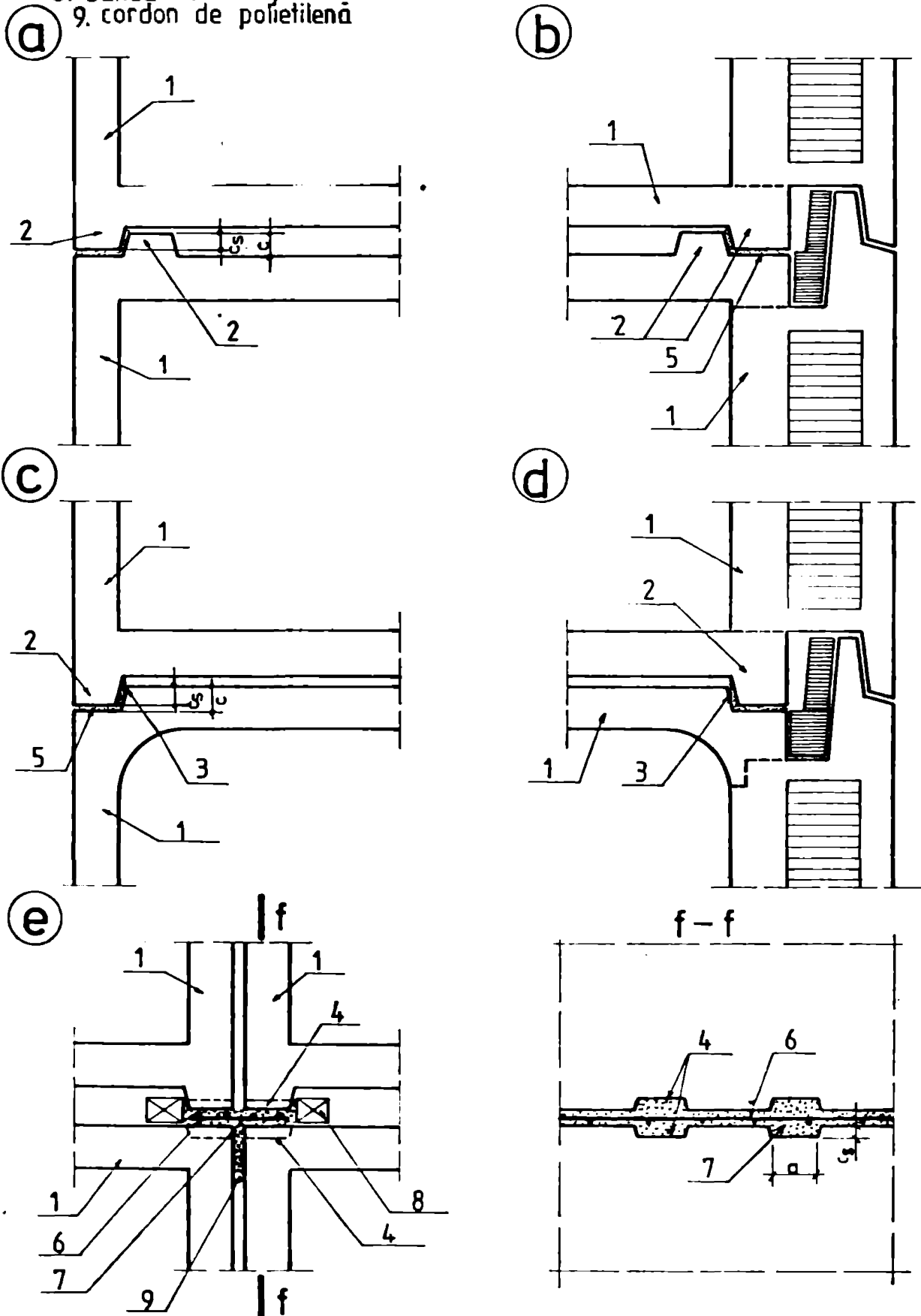
d.1. Prevederea unor îmbinări de anelităzare sub formă de

FIG. 3.6 Exemple de îmbinări horizontale între elementele spațiale suprapuse.

1. element spațial
2. bordură perimetrală
3. prag perimetral
4. alveole
5. mortar
6. carcasa de armare
7. beton de monolitizare
8. bandă de cofraj
9. cordon de polietilenă

$$c_s \geq 2 \text{ cm}$$

$c \geq 4 \text{ cm}$, cu realizarea preciziei de execuție conform (3.2)



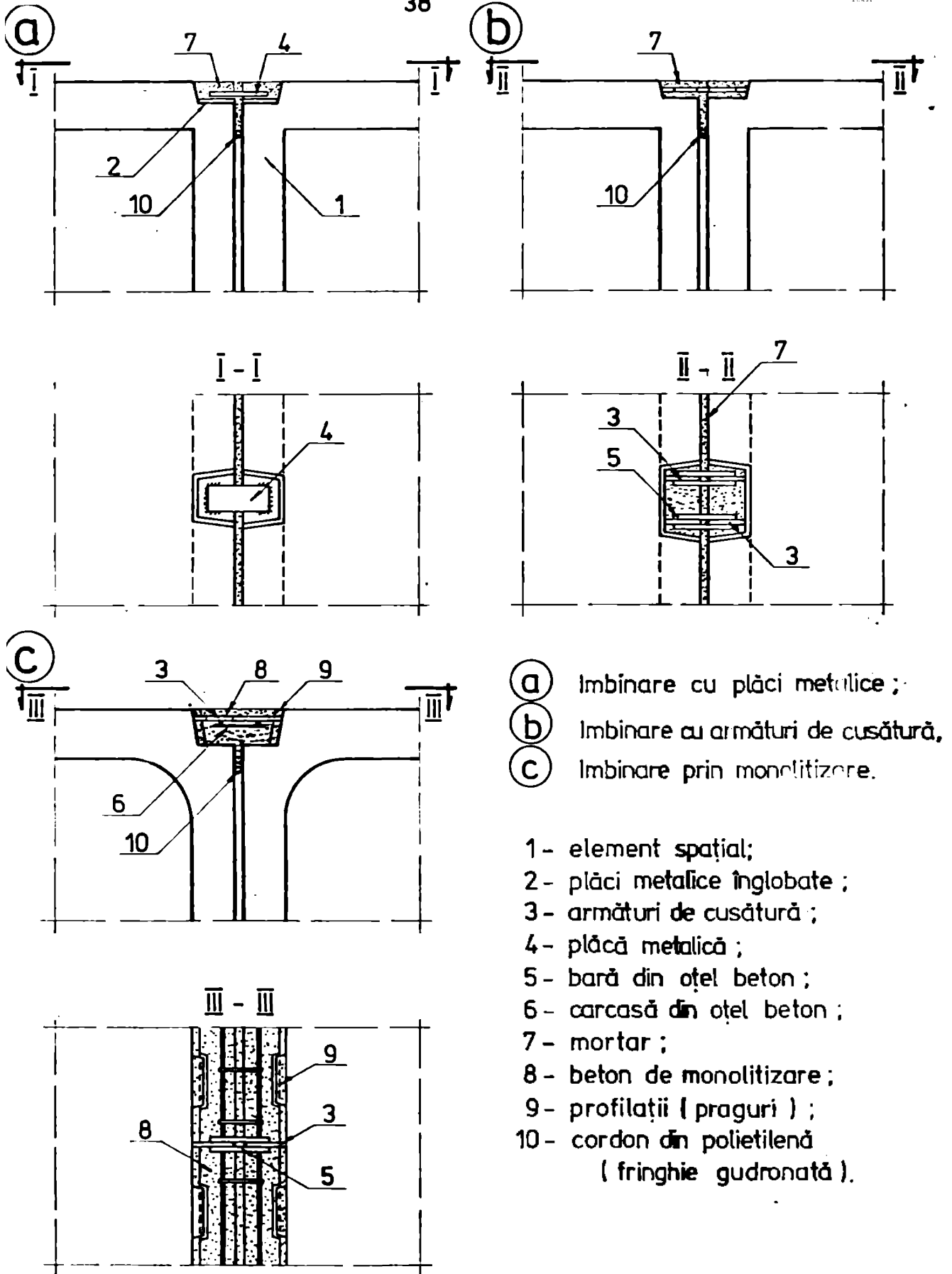
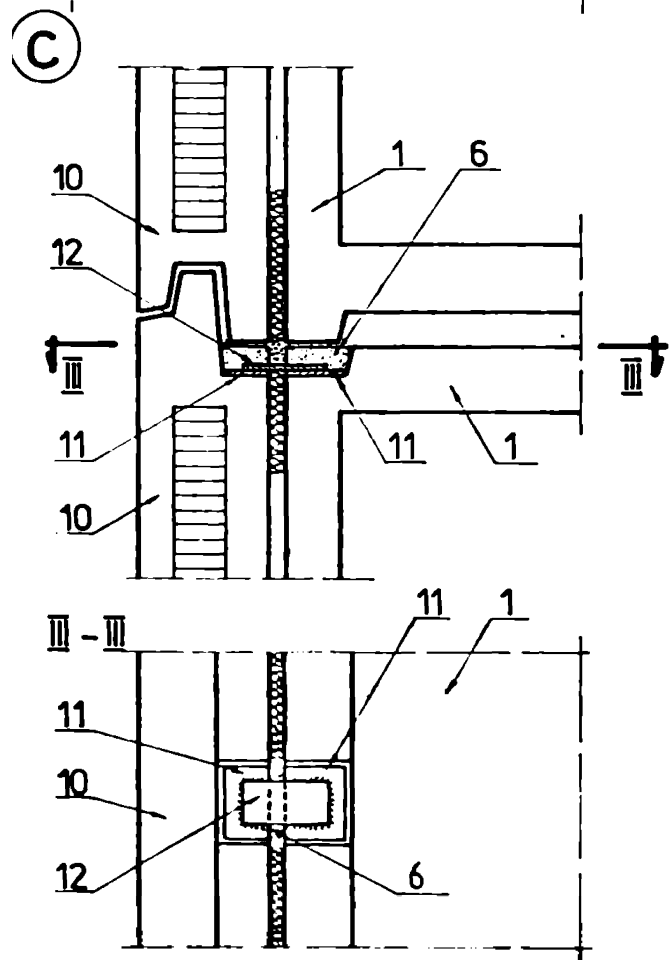
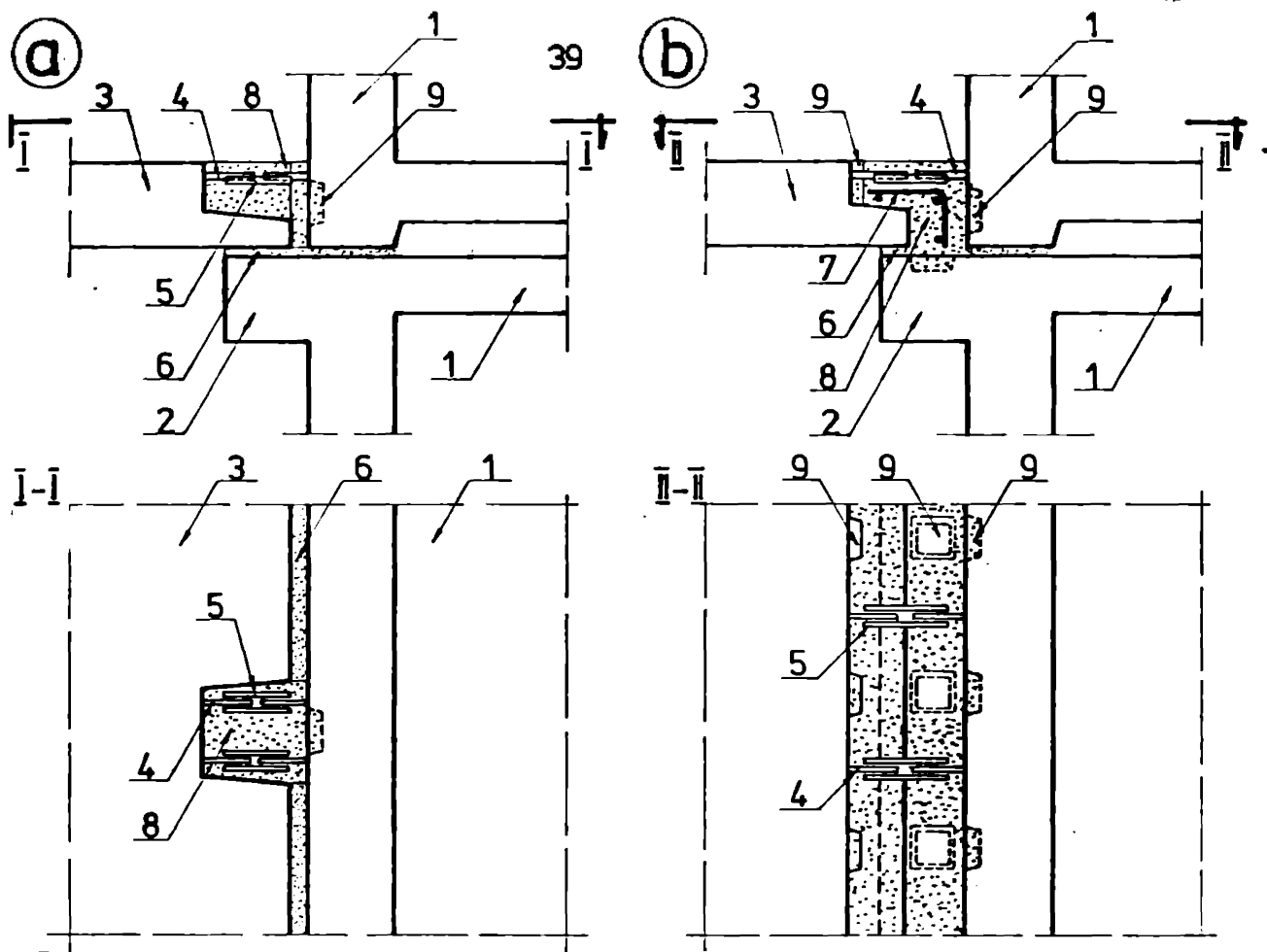
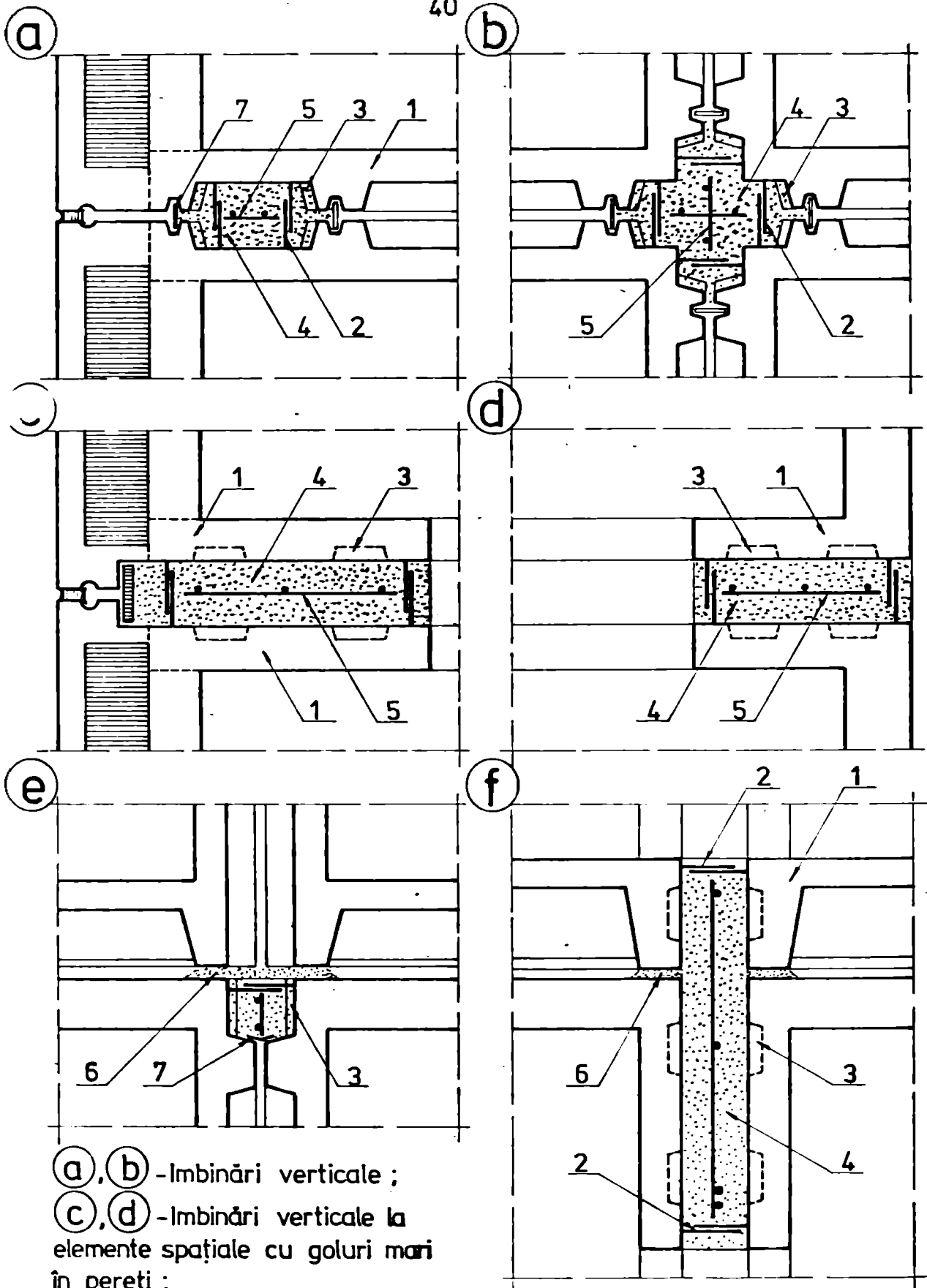


Fig. 3.7 EXEMPLE DE IMBINARI ORIZONTALE
 INTRE ELEMENTELE SPATIALE ALATURATE.



- 1- element spațial ;
- 2- consolă ;
- 3- panou de planșeu ;
- 4- armături ;
- 5- eclise din oțel beton ;
- 6- mortar ;
- 7- carcasa de armare ;
- 8- beton de monolitizare ;
- 9- profilatii (praguri alveole) ;
- 10- panou termoizolator ;
- 11- placă metalică înglobată ;
- 12- placă metalică .

Fig. 3.8 EXEMPLE DE IMBINARI INTRE ELEMENTE SPATIALE SI PANOURI



(a), (b) - Imbinări verticale ;

(c), (d) - Imbinări verticale la
elemente spațiale cu goluri mari
în pereti ;

(e) - Imbinare orizontală ; (f) - Imbinare orizontală la elemente spațiale
cu goluri mari in pereti.

1 - element spațial ; 2 - armături de cusătură ; 3 - profilajii (praguri,
alveole) ; 4 - beton de monolitizare ; 5 - carcasă de armătură ;
6 - mortar de poză ; 7 - bandă de etanșare.

Fig. 3.9 EXEMPLE DE IMBINARI PRIN MONOLITIZARE.

stâlpișori (fig. 3.9 a,b,c,d).

d.2. Introducerea unor compresiuni permanente prin precompresie orizontală.

e) Legăturile orizontale între componentele structurale (stive, coloane) în vederea asigurării conlucrării acestora în ansamblul structurii de rezistență al clădirii, se realizează, în general, cu soluțiile indicate la punctul c).

f) În cazul construcțiilor amplasate în zone cu grad ridicat de seismicitate (8-9), fondate pe terenuri la care pot să apară tășări diferențiate importante, sau realizate din elemente spațiale cu goluri mari în pereți, se recomandă adaptarea de structuri complet monolitizate, cu îmbinări din beton armat, continui, verticale și orizontale (fig. 3.9.); suprafețele de contact prefabricat-monolit vor fi tratate cu amprente și armături, pentru asigurarea conlucrării lor în secțiunea mixtă [119, 29].

g) Îmbinările orizontale între panourile de planșeu și coloanele (stivele) de elemente spațiale, în cazul structurilor mixte (fig. 3.4 c.,d) se pot realiza, prin :

g.1. Rezemarea pe console și efectuarea unor monolitizări orizontale (fig. 3.6. a,b);

g.2. Rezemarea provizorie pe console metalice demontabile și introducerea unor eforturi permanente prin precompresie orizontală.

h) Panourile termoizolante, autoportante vor fi prinse de elementele spațiale alăturate cu plăci metalice sudate 1, (fig.3.8 c) sau cu baze din oțel beton sudate, protejate cu mortar sau beton.

Intrucât abaterile de montaj au ca efect apariția de eforturi și deformații suplimentare, semnificative, în elementele spațiale cu pereți subțiri (5.3.2.) și pentru asigurarea calității corespunzătoare a execuției cu elemente finisate, se consideră necesară limitarea acestora la valori mai mici decât cele prevăzute în [24] și [29], după cum urmează :

- abateri limită de suprapunere :

. între două niveluri consecutive $a_1 = \pm 2,5$ mm

. pe întreaga construcție $a_2 = \pm 5$ mm

- abateri limită de la verticalitate a pereților, acențurilor

$a_3 = 3$ mm

- abateri limită de la orizontalitate a suprafețelor de rezemare

$a_4 = 3$ mm

- diferența maximă de nivel, la fața superioară a planșeelor de pardoseală finisate,

$a_5 = 3$ mm

3.5. LEGĂTURILE ÎNFRASTRUCTURILOR.

Sensibilitatea la tasări diferențiate a structurilor alcătuite din stive și caloare de elemente spațiale, precum și tendința de concentrare a presiunilor pe teren, datorită rosturilor verticale între aceste componente, impune prevederea unor infrastructuri cu o rigiditate corespunzătoare. Necesitatea de subsoluri pentru instalații, la clădiri multietajate, conduce, în general, la posibilitatea asigurării rigidității cerute.

Pereții de subsol pot fi realizați din beton armat monolit, sau din prefabricate spațiale, cu contur închis [165, 110], sau deschis [122].

Conlucrarea între suprastructură și infrastructură va fi asigurată, prin realizarea legăturilor între acestea, cu folosirea scurșurilor de înținare prevăzute la 3.4.a,b.



Fig. 3.10
Sistemul ICIM Bv.
Fază de montaj.

4. ASPECTE RECAPITULATIVE LA COMPORTAREA STRUCTURILOR ȘI A ELEMENTELOR COMPONENTE. CERCETĂRI EXPERIMENTALE.

Avîndu-se în vedere nouitatea problemelor rezultate din aplicarea sistemelor constructive cu elemente spațiale, în țara noastră s-a fost desfășurată o vastă activitate de cercetare experimentală de laborator, care a avut drept scop să pună la dispoziția proiectării și execuției o bază de date, care să suplinească lipsa de prescripții, pe plan național și internațional, în acest domeniu. Principalele teme analizate și instituturile unde s-au efectuat cercetările sînt următoarele :

a) Comportarea pereților subțiri și elementelor spațiale, la Institutul Politehnic „Traian Vuia” Timișoara [143, 149, 150, 96, 97, 98, 138], I.C.C.P.L.C. filialele Timișoara [151, 152] și Cluj-Napoca [153] ;

b) Gradul de conlucrare a nervurilor prefabricate cu miezul anelit și indicații de alcătuire a elementelor mixte (secțiunile armăturilor de cusătură și a sarcinilor precum și distribuția acestora pe suprafețele de contact prefabricate-miez anelit) în vederea comportării acestora ca elemente omogene, la I. P. „Traian Vuia” [144, 146] ;

c) Caracteristicile de rezistență și deformabilitate ale îmbinărilor între elementele spațiale suprapuse, în soluție cu borduri perimetrice (fig. 3.6. a, b), la I.C.C.P.L.C. filiala Timișoara 151, 152 și în soluție de asamblare prin precompresie verticală, la I.C.C.P.L.C. filiala Iași [94] .

d) Comportarea și capacitatea portantă a coloanelor de elemente spațiale, rezultate din încercări la secțiunea încercărilor verticale și orizontale alterante, la I.C.C.P.L.C. filiala Timișoara [151, 152] ;

e) Comportarea în regim dinamic a structurilor din elemente spațiale, asamblate cu armături posttensionate, introduse în secțiunile anelitărilor verticale, rezultată prin încercarea unui model de clădire la scara 1 : 5, cu 5 niveluri, la extremitate simulate pe platforme seismică, la I.C.C.P.L.C. filiala Iași [155]

f) Comportarea structurilor mixte realizate în sistemul EME (Venezuela) - coloane de elemente spațiale tip pșar asamblate prin precompresie verticală și planșee prefabricate rezecate pe coloane - în regim static și dinamic, rezultată din încercarea unui model de subansamblu de structură la scara 1 : 4, constituit din două coloane și două planșee, pe platforme seismică, la

I.C.C.P.D.C. filiala Iași [94] ;

g) Rigiditatea planșelor clădirilor din elemente spațiale, realizate prin îmbinarea plăcilor de tavan ale elementelor alăturate cu plăcuțe metalice sudate, analizată prin încercarea unui model din plexiglas la scara 1 : 20, reprezentând un tronsoan de clădire cu 5 niveluri la acțiunea unor forțe statice concentrate, la Institutul de Construcții din București [91] ;

h) Studiul comportării structurilor din elemente spațiale la acțiunea dinamică rezultată din agitația microseismică a terenului, prin măsuratori in „situ” pe clădiri realizate la Brașov și Craiova, a perioadelor și formelor proprii de vibrație, a deplasărilor relative în plan orizontal și vertical între două coloane alăturate, precum și a rotirii în plan a coloanelor, la INCERC București [158] ;

i) Tehnologiile de realizare a elementelor spațiale și a construcțiilor, la INCERC București [7, 120,] C.M.C. - I.C.P.M.C. București [72, 73] , I.C.I.M. Brașov [101, 102, 105, 106] și I.C.C.P.D.C. Iași [157] ;

j) Gradul de izolare fonică a pereților și planșelor clădirilor din elemente spațiale și propuneri de soluții de alcătuire a acestora în vederea realizării unei izolații fonice corespunzătoare, conformă cu prescripțiile, la INCERC București 142 .

Cercetările desfășurate la I.C.C.P.D.C. filiala Timișoara s-au efectuat cu participarea personalului catedrei C.C.I.A. a Institutului Politehnic Timișoara și cu colaborarea întreprinderii I.C.I.M. Brașov.

În continuare sînt prezentate cîteva aspecte privind cercetările experimentale efectuate cu participarea autorului acestei lucrări.

4.1. ASPECTE PRIVIND COMPORTANȚA PEREȚILOR ELEMENTELOR SPAȚIALE.

Avanțarea sistemelor de construcție cu elemente spațiale a fost condiționată, printre altele, de posibilitățile tehnologice de realizare a unor pereți subțiri și de rezultatele cercetărilor care au atestat rezistența și stabilitatea acestora. Se arecută curent structuri multietajate din elemente spațiale cu pereți subțiri, avînd coeficientul convențional de zveltete λ' , exprimat ca raport între înălțimea (H) și grosimea (h) ale peretelui, de 35 la 40 și chiar 50 (de exemplu în sistemul francez SIGMA pereții au grosimea $h = 5$ cm și înălțimea $H = 250$ cm)

Lucrarea [138] conține o analiză sistematică a comportării, din punct de vedere al rezistenței și stabilității, a diferitelor

tipuri de pereți subțiri din beton armat, efectuată în baza cercetărilor experimentale asociate cu unele cercetări teoretice.

În cele ce urmează se face o prezentare sintetică a unor aspecte referitoare la comportarea pereților subțiri aferenți sistemului I.C.I. de construcție cu elemente spațiale tip pahar culcat, aspecte rezultate din cercetările experimentale [149, 150, 151, 152] și necesare în activitatea practică de proiectare.

4.1.1. Alcătuirii pereților.

Sînt tratate următoarele scheme ale pereților încercați (fig. 4.1.a, tabel 4.1.):

Cazul 1 : pereți încadrați elastic unilateral pe marginile orizontale în planșee și articulați pe marginile verticale în pereții transversali ;

Cazul 2 : pereți încadrați elastic unilateral pe marginile orizontale în planșee și liberi pe marginile verticale ;

Cazul 3 : pereți articulați pe marginile orizontale și liberi pe marginile verticale ;

Cazul 4 : pereți încadrați elastic unilateral pe marginile orizontale în planșee, articulați pe marginile verticale în pereții transversali și prevăzuți cu două geluri de uși amplasate simetric.

Pereții încercați au fost alcătuiți în două soluții :

a) pereți subțiri cu nervuri verticale la fața exterioară avînd grosimea plăcii $h_p = 5 \text{ cm}$, grosimea totală (placă + nervură) $h_N = 9 + 12 \text{ cm}$ și distanțele între nervuri $L_N = 10 h_p, 20 h_p$;

b) pereți subțiri cu fațe netede avînd grosimea $h_p = 7 + 9 \text{ cm}$

În ambele soluții lungimea pereților a fost $L = 0,30 \text{ cm}$ iar înălțimea interioară $H = 267 \text{ cm}$.

Încercările au fost efectuate pe modele de elemente spațiale, la scară 1 : 3 pentru cazurile 1, 2, 3 și pe modele de semielemente la scară 1 : 2, formînd un ansamblu cu doi pereți cuplați alăturat, în cazul 4, din beton armat avînd mărimea B.200 la L. 400; armarea modelelor a fost modelată după armatura reală alcătuită din piese scurte amplasate la mijlocul grosimii plăcilor și din cerceve tip scărișă pentru nervuri.

4.1.2. Modul de efectuare a încercărilor, Constatări.

Modelele au fost încercate la încărcări uniforme repartizate în lungul marginilor orizontale, aplicate în planul median al pereților, crescătoare de la zero pînă la rupere. S-au înregistrat, într-o rețea de puncte amplasate în planul pereților în zonele unde este de așteptat pierderea stabilității, cu marci tensometrice dispuse pe ambele fețe ale pereților, deformațiile specifice pe direc-

ție verticală și deplasările Δ normale pe planul pereților, în funcție de mărimea încărcărilor P . S-au trasat curbele caracteristice $P-E$ pentru perechile de puncte $A-B$ de pe fețele pereților (fig. 4.1b), curbele caracteristice $P-\Delta$ (fig. 4.1c) și suprafețele deformați ale pereților.

În analiza suprafețelor deformați [138, 143, 149, 150, 96 97, 98] ale pereților încercați se pot face următoarele constatări:

a) Deformațiile pereților sînt suprafețe cu dublă curbura, stît în soluția de alcătuire din plăci cu fețe netede cît și în aceea de alcătuire din plăci subțiri cu nervuri verticale la fețe exterioară; nervurile nu sînt resurse fixe pentru placa subțire : ele întăresc însă comportarea pereților la stabilitate.

b) Deformația porțiunii de perete dintre gările de uși, în cazul 4, este tot o suprafață cu dublă curbura; curbura pe direcție verticală este mai pronunțată cît pe direcție orizontală : deformația se apropie de o suprafață cilindrică.

4.1.3. Definiția încărcării critice.

Adoptînd criteriul din [133] se consideră cît pierderea stabilității are loc la încărcarea pentru care curbele caracteristice $P-E$ (fig. 4.1 b), aferente perechii de puncte $A-B$ devin divergente (în fig. 4.1.b, încărcarea la care deformația specifică în B începe să scadă cu creșterea încărcării P). Încărcarea critică P_{cr} este încărcarea minimă la care apare divergența curbelor $P-E$ pentru o anumită pereche de puncte $A-B$ din rețeaua studiată; zona unde se consideră cît apare pierderea stabilității este marcată de aceste puncte $A-B$.

Analizîndu-se curbele $P-\Delta$ s-a constatat cît în punctele de pierdere a stabilității pereților se schimbă brusc tangenta la aceste curbe (fig. 4.1.c). În fig. 4.1.b sînt prezentate exemplificativ, curbele $P-E$ pentru perechea de puncte $A-B$ unde are loc pierderea stabilității peretelui nervurat ($L_y = 2e h_p$) în schema 1 de alcătuire, iar în fig. 4.1.c este prezentată, exemplificativ, curba caracteristică $P-\Delta$ în punctul de pierdere a stabilității peretelui, în schema de alcătuire 4.

4.1.4. Modul de cedare. Stadii de lucru ale pereților.

Analizîndu-se comportarea pereților la încălziri crescătoare pînă la rupele, pot fi definite trei stadii de lucru ale acestora (fig. 4.1. c,d):

Stadiul I. În prize fază, la încălziri mici deplasările sînt proporționale cu sarcina ; la o anumită valoare a încălzirii apar fisuri în lungul marginilor orizontale, fapt care se consideră starea limită a stadiului I.

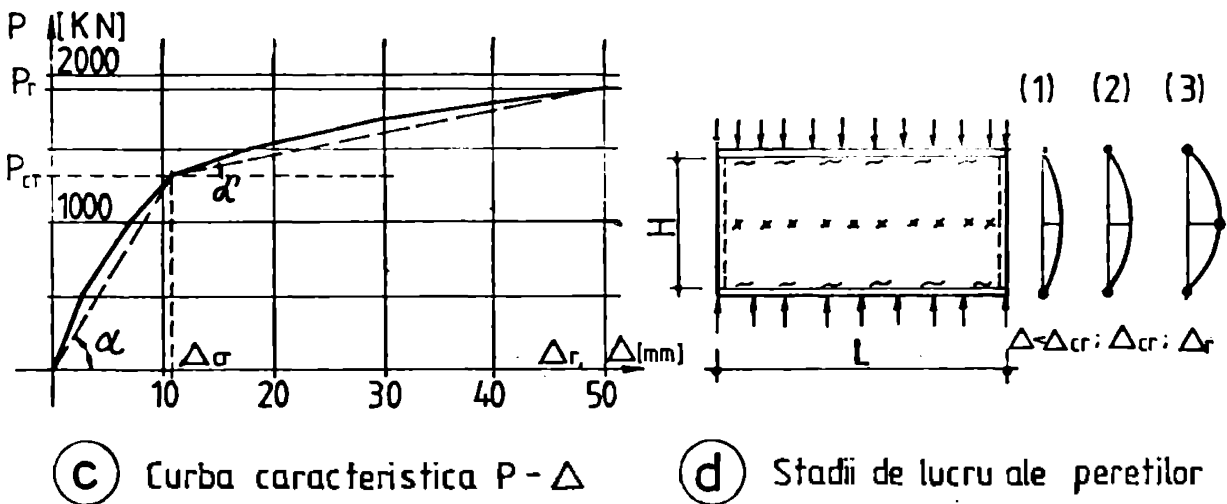
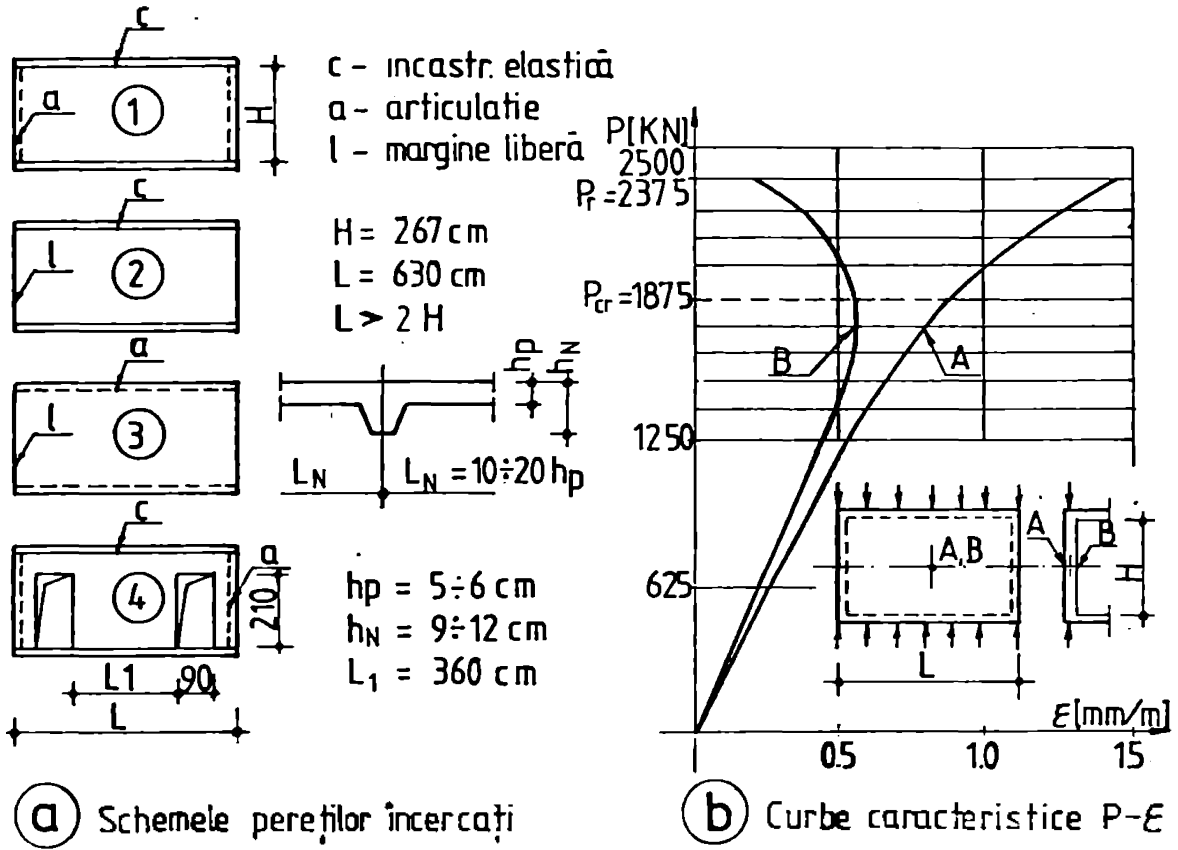


Fig. 4.1

Tabel 4.1

Schema Pereții	Pereți nervurati				Pereți netezi	
	$L_N = 10 h_p$		$L_N = 20 h_p$		$h_p = 7 \div 9 \text{ cm}$	
	$\bar{\sigma}_{cr} / R_b$	$\bar{\sigma}_r / R_b$	$\bar{\sigma}_{cr} / R_b$	$\bar{\sigma}_r / R_b$	$\bar{\sigma}_{cr} / R_b$	$\bar{\sigma}_r / R_b$
1	0.54	0.74	0.45	0.65	0.74	0.91
2	0.46	0.72	—	—	0.73	0.92
3	0.35	0.48	—	—	0.59	0.72
4	—	—	0.38	0.55	—	—

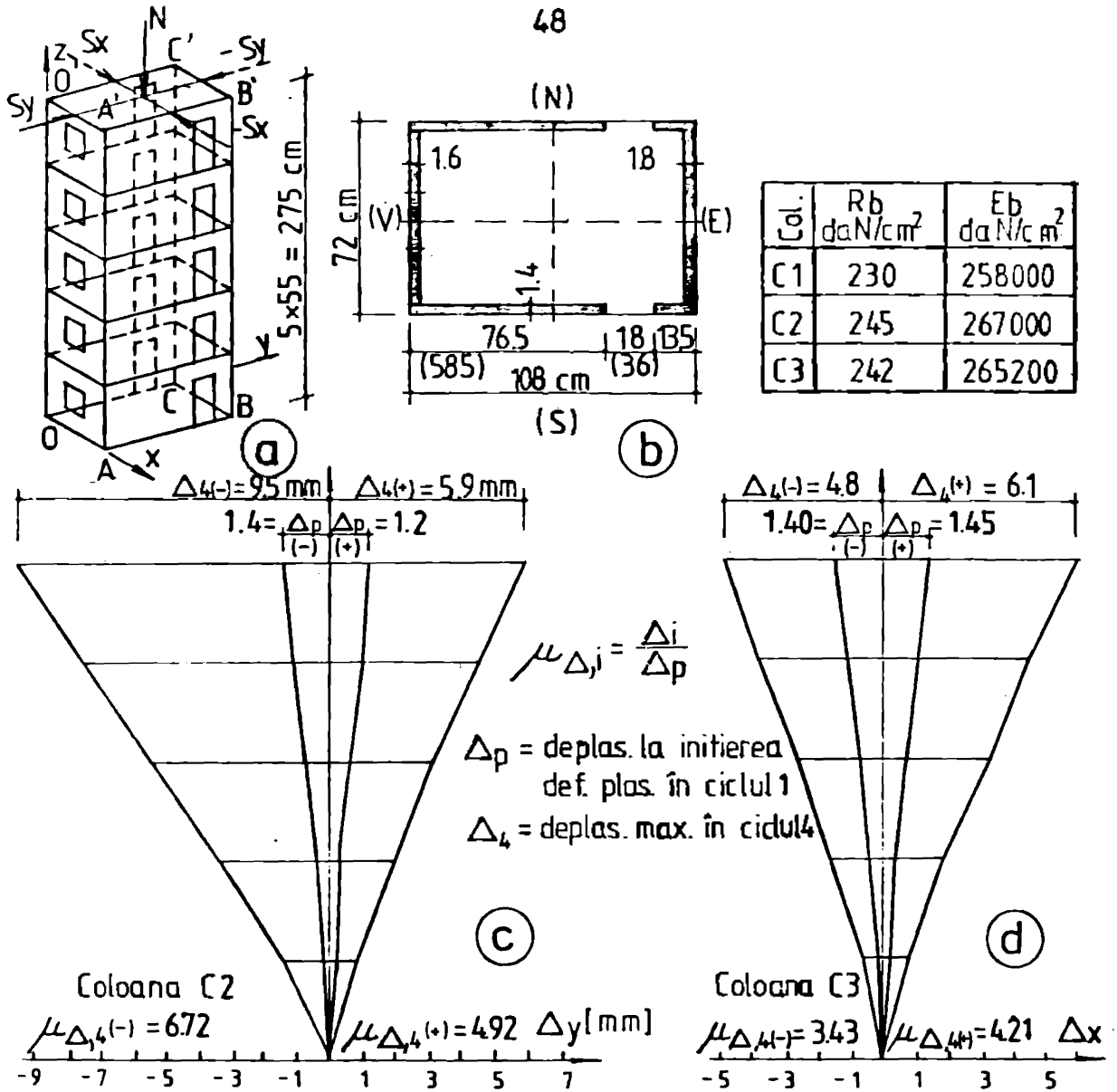


Fig. 4.2

COLOANE C1, C2, C3 ; ÎNCĂRCĂRI PE CICLURI Tabel 4.2

Ciclul	COLOANA C1			COLOANA C2			COLOANA C3				
	Sy(H _E) atm daN	+Sy(H _V) atm daN	N atm daN	Sy(H _E) atm daN	+Sy(H _V) atm daN	N atm daN	Sx(H _N) atm daN	-Sx(H _S) atm daN	N atm daN		
1	175 1225	175 1225	60 4200	15 1050	15 1050	60 4200	10 700	10 700	60 4200		
2	175 1225	175 1225	60 4200	175 1225	175 1225	60 4200	15 1050	15 1050	60 4200		
3	22 1540	22 1540	60 4200	22 1540	22 1540	60 4200	17.5 1225	17.5 1225	70 4900		
4	25 1750	25 1750	60 4200	70 4900	25 1750	28 1960	75 5250	140 9800	20 1400	80 5600	
5	27 1890	33 2310	81 5670	112 7840	—	—	—	—	22.5 1575	22.5 1575	90 6300
6	29 2030	—	100 7000	—	—	—	—	—	32 2240	—	180 12600

Nota: Coloana C2 are lățimea ușilor, dublă față de ale coloanelor C1, C3 (dimensiuni în paranteză)

Stadiul 2. Creșterea în continuare a încălzării conduce la deschiderea fisurilor care devin echivalente cu articulații în lungul marginilor orizontale; deplasările orizontale Δ sînt cvasi-proportionale cu încălzirile. Starea limită a stadiului 2 este marcată prin pierderea stabilității la încălzirea critică.

Stadiul 3, este caracterizat prin creșteri mari ale deplasărilor Δ , în senale de pierdere a stabilității, la creșteri neînsemnate ale încălzirii. Starea limită a stadiului 3 apare la cedarea peretelui printr-o linie de rupere care se produce aproximativ la mijlocul înălțimii peretelui.

În cazul 4 de alcătuire - pereți cu goluri de uși - a cedat în primele etape porțiunea dintre goluri și apoi șpeleții.

Pereții alcătuiți după schema 3 au numai două stadii de lucru (2 și 3).

Raportul între deplasarea la cedare a peretelui (Δ_r) și deplasarea critică (Δ_{cr}), reprezintă capacitatea scutului de a acumula energie în domeniul postcritic; la pereții încercați acest raport a avut valoare de 4 la 10.

Eforturile unitare critice ($\tilde{\sigma}_{cr}$) și de rupere ($\tilde{\sigma}_r$), în funcție de schemele de alcătuire și marca betonului (R_b), rezultate din încercări, sînt înscrise în tabelul 4.1. Analizînd cooperativ aceste rezultate cu eforturile unitare de calcul ($\tilde{\sigma}_{calc}$) în faza de exploatare (încălziri gravitaționale și seismice convenționale), se poate constata că pentru clădiri cu 5 niveluri, amplasate în zone cu gradul 7 de protecție antisismică ($\tilde{\sigma}_{max,calc} \cong 0,1 R_b$) coeficienții de siguranță la pierderea stabilității pereților ($C_f = \tilde{\sigma}_{cr} / \tilde{\sigma}_{max,calc}$) variază între 3,5 și 7,5, iar coeficienții de siguranță la pierderea capacității portante ($C_r = \tilde{\sigma}_r / \tilde{\sigma}_{max,calc}$) între 4,0 și 9,1.

4.2. ASPECTE REFERITOARE LA COMPORTAREA COLONELOR DE ELEMENTE SPAȚIALE [151, 152].

În cele ce urmează sînt prezentate aspecte referitoare la comportarea colonelor de elemente spațiale, rezultate din încercările de laborator, efectuate pe trei coloane cu 5 niveluri, la scară 1 : 5, la încălziri gravitaționale permanente și încălziri orizontale alternante, crescătoare de la zero pînă la rupere. Trept prototipuri au fost considerate coloanele reale, folosite la construcțiile proiectate și realizate de către I.C.I.S. Brașov, pentru amplasamente cu gradul 7 de protecție antisismică.

4.2.1. Elemente experimentale. Încălziri.

Coloanele sînt asamblate din acele de elemente spațiale

tip pacher culcat (cinci fețe turnate monolit și un panou de fațadă prins cu legături sudate, fig.2.7, 3.1.) Modelale au fost executate din mortar de ciment arast avind caracteristicile mecanice indicate în tabelul din fig. 4.2. Armarea lor s-a făcut cu plase și cerceși modelate după arasturile elementelor prototip. Asamblarea în colone a fost efectuată cu îmbinări verticale de continuitate de tipul celor din fig. 3.5. și rosturi orizontale din mortar de poasă; elementul de la baza colonei este armat, cu același tipuri de legături, pe un suport metalic rigid (care face parte din dispozitivul de încercare) avind rol de fundație.

Încercările au fost aplicate la vârful coloanelor cu ajutorul unor prese. Încercarea verticală a fost distribuită uniform pe conturul pereților, în planul acestora, prin intermediul unui planșă rigidă; mărimea ei a fost stabilită pentru a se asigura un efort unitar de compresie echivalent cu cel produs la baza colonei reale de încercările gravitaționale de exploatare în gruparea specială ($\bar{\sigma} \cong 8,5 \text{ daN/cm}^2$). Încercările orizontale au fost aplicate alternant (încercare - descarcare) în trepte, de la zero pînă la rupere. Treapta la care s-a constatat inițierea deformațiilor plastice a fost considerată ciclul I al încălzirii, înst ce referință pentru determinarea utilității globale a colonei. Caracteristicile coloanelor încercate sînt prezentate în fig 4.2 a, b, iar încercările pe cicluri în tabelul 4.2.

Coloana C.1 are două șiruri de goluri pentru uși în pereții longitudinali și un șir de goluri pentru ferestre în panourile de fațadă; încercările orizontale au fost aplicate pe direcție longitudinală în planul de simetrie (fig.4.2).

Coloana C.2 are goluri de uși de lățime dublă față de ale colonei C.1, iar încercările orizontale se aplică tot în planul longitudinal de simetrie.

Coloana C.3 este identică cu coloana C.1 dar încercările orizontale sînt aplicate transversal în centrul de greutate (fig. 4.2).

În timpul încercărilor au fost măsurate deplasări (cu microcomparatoare) și deformații specifice liniare (cu măști tensometrice) în funcție de încărcare, după cum urmează :

- a) deplasări orizontale la nivelul planșeelor ;
- b) deplasări normale pe planul pereților într-o rețea de puncte la elementele de la parter ;
- c) deschiderea rosturilor orizontale de la bază și între nivelele 1 - 2;
- d) Deformații specifice ale betonului pe direcție verticală

intr-o rețea de puncte unde este de așteptat pierderea stabilității, la ambele fețe ale pereților de la parter ;

e) Deformații specifice liniare ale betonului, pe direcții orizontale și înclinate, la pereții de la parter ;

f) Deformații specifice liniare ale armăturilor verticale la baza coloanelor.

4.2.2. Comportarea coloanelor la încercare.

Analizându-se comportarea coloanelor la efectul combinat al încărcării verticale constante și al încărcării orizontale, crescătoare în trepte, aplicată în cicluri alternante și modul de fisurare-degădare-cedare, se pot face următoarele constatări :

a) Până la o anumită treaptă de încărcare în ciclul 1 - pentru coloana C.1, $S = 1.225 \text{ daN}$ (17,5 sta), ($S/N = 0.29$), coloana C.2, $S = 1050 \text{ daN}$ (15 sta), ($S/N = 0.25$) și coloana C.3, $S = 700 \text{ daN}$, (10 sta), ($S/N = 0.17$) - coloanele se comportă elastic ; la aceste valori ale încărcărilor orizontale apar primele fisuri (inițial în secțiunile de încastrare ale buiandrugilor și apoi în montanți, la parter, ușor conștientizate la inițierea de deformații plastice (Δp).

Această limită este considerată referință pentru determinarea ductilității. Curbele deplasărilor laterale, la inițierea deformațiilor plastice, au forme caracteristice consolelor (fig.4.2 c, d; 4.3. a).

b) În ciclul 2, la coloanele C.1, C.2 au apărut noi fisuri în buiandrugi și montanți la parter și etajul 1, și s-au dezvoltat cele existente; la coloana C.3 au apărut fisuri orizontale în tălpile peretelui transversal și s-au continuat cu fisuri înclinate în seceta, la parter (fig. 4.7; 4.8; 4.9).

c) În ciclul 3, la coloanele C.1, C.2, pentru o încărcare $S = 1400 \text{ daN}$ ($S/N = 0.33$) s-au produs primele fisuri în rosturile orizontale de la bază și dintre nivelurile 1 - 2, și s-au înregistrat deplasări de tip „glisare” de ordinul a o.02 la 0.03 mm; apar primele fisuri orizontale (de întindere) în pereții longitudinali (montanții mari) și se dezvoltă altele noi în montanții mici, la parter și etajul 1. De asemenea se dezvoltă fisuri noi, verticale, în secțiunile de încastrare ale buiandrugilor, la parter și etajul 1 (fig. 4.5; 4.8). La coloana C.3 apar noi fisuri înclinate în buiandrugi, orizontale în tălpile peretelui transversal și fisuri înclinate în pereții longitudinal și transversal (fig.4.7;4.9;4.10).

d) În ciclul 4, procesul de fisurare și deședare este caracterizat în continuare :

Coloana C.1 apar fisuri noi de întindere (orizontale) în montanții mici și în pereții longitudinal, la parter și etajul 1;

apar fisuri inclinate in buiandrugii la parter, se deschide mult rostul orizontal de la bază ($\Delta z = 0.27 \text{ mm}$).

Coloana C.2. Ieșirea din lucru a buiandrugilor prin transformarea fisurilor verticale din zonele de încetare a acestora în pereții longitudinali, în linii de rupere, care s-au dezvoltat și în planșee și a condus la o separare a celor doi montanți pe întreaga înălțime a coloanei. A urmat cederea montanților mic prin formarea și deschiderea unor linii de rupere inclinate și verticale; cederea propriu-zisă a avut loc prin zdrobirea betonului în secțiunea comprimată (fig.4.8); se deschide mult rostul orizontal de la bază ($\Delta z = 0.35 \text{ mm}$).

Coloana C.3. Se produce o fisura în rostul orizontal, între parter și etajul I, în pereții longitudinali (fig. 4.9; 4.10); apar noi fisuri orizontale și înclinate în pereții transversali și în pereții longitudinali.

Curbele deplasărilor laterale în ciclul 4 au, pentru toate coloanele (fig.4.2.c,d; 4.3 a) formă caracteristică consolelor cu articulație plastică la bază.

e) La încărcări orizontale superioare celor aferente ciclului 4, s-au produs, la toate coloanele, deformații excesive ale armăturilor verticale, în zonele de îmbinare de la bază, mult peste limitele admise ($E_a \gg E_{a,lim} = 50\%$), având ca rezultat deschideri foarte mari ale rostului orizontal (prețic acesta se transformă într-o articulație). Pentru conducerea încercării până la cederea betonului comprimată a fost necesară creșterea încărcării verticale (având rolul de a suplini armătura verticală, dimensionată atât pentru prototipuri cât și pentru modelele încercate, la încărcări seismice convenționale corespunzătoare gradului 7 de protecție anti-seismică). Cederea coloanei C.1 s-a produs, în ciclul 6, prin zdrobirea betonului comprimată în pereții longitudinali, la bază și flambarea armăturilor de îmbinare.

Cederea coloanei C.3 s-a produs, în ciclul 6, prin deplasarea transversală pe planul inclinat de rupere (la circa 30°) din pereții transversali și expulzarea betonului din tălpile acestuia, la bază, și de pe linia orizontală de rupere formată în pereții longitudinali, la nivelul buiandrugului (fig. 4.7).

f) În pereții prefabricați ai coloanelor au apărut primele fisuri numai în stadiul final de cedare; din această constatare decurge concluzia că acești pereți nu au fost antrenati în prelucrare directă de eforturi din încărcările verticale și orizontale. Față de modul cum au fost îmbinate pe elementul spațial (prin sudarea unor plăcuțe metalice distribuite pe contur, (fig.3.1)

acestea pereți li se poate atribui numai un rol de rigidizare (contravîntuire) și nu un rol portant. De altfel, din diagrame deformațiilor specifice liniare $\bar{\epsilon}_z$, măsurate la mijlocul înălțimii elementelor spațiale de la perterul coloanei C.1, pentru încărcarea orizontală aferentă ciclului 1 (fig. 4.3 c), rezultă un salt al acestora pe muchia verticală între perețele transversal prefabricat și perețele longitudinal monolit.

g) Din analiza diagramei deformațiilor specifice liniare determinate pe cele experimentale și prin calcul cu metoda elementelor finite (MEF), rezultă concluziile următoare: pe toată secțiunea acestora, cu înimă, chiar dacă înimă are o înălțime mult mai mică decât talpa (fig. 4.3 c).

h) La încărcările efectuate nu s-a produs pierderea stabilității pereților; din curbele specifice de tipul $P - \epsilon$ și $P - \Delta$ (fig. 4.1.b, c) rezultă menținerea stabilității pereților până în stadiul de cedare a coloanelor. Modul de alcătuire al elementelor spațiale și al coloanelor conduce la folosirea capacității de rezistență înaintea pierderii stabilității.

i) Pentru toate coloanele au fost determinați coeficienții de ductilitate globală μ_{Δ} pe cicluri. Dacă sînt analizați, de exemplu, factorii de ductilitate pentru ciclul 4, (fig. 4.2.c, d; 4.3.b), (care sînt 4,38 respectiv 5,90 pentru coloana C.1, 6,79 respectiv 4,92 pentru coloana C.2 și 3,43 respectiv 4,21 pentru coloana C.3), coloanele pot fi considerate ca „ductile” conform criteriului general ($\mu_{\Delta} = 4 \dots 6$) din [56]. În cazul coloanei C.1 sînt prezentate, în fig. 4.3, ciclograma încercării, factorii de ductilitate pe cicluri și ductilitățile acumulate în patru cicluri succesive.

j) Necesitatea sporirii armăturii verticale pentru a se asigura conducerea încercării pînă la ruperea betonului prin compresiune indică rezerve de rezistență ale secțiunilor de beton și deci posibilitatea folosirii elementelor spațiale cu aceeași grosime de pereți, dar cu o armare verticală corepunzătoare, la clădiri cu mai mult de cinci niveluri, sau amplasate în zone cu grad de protecție antisismică mai mare decît 7.

4.3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ASUPRA ÎMBINĂRILOR REALIZATE ÎN SOLUȚIA CU BORDURI PERIMETRICE.

Sînt tratate încercările realizate în laborator asupra îmbinărilor între elementele spațiale suprapuse, executate în soluție cu borduri perimetrice (fig. 3.6 a, b, c, d) [151, 152]. Au fost efectuate experimentări pe 26 de ansamble de elemente experimentale (fig. 3.1 a), realizate la scară naturală, în secvențe de

Se cu imagine (tabel 4.3).

Tabel 4.3

Element experim	Proc. de arm. p %	Rb [daN/cm ²]	σ [daN/cm ²]	Tu daN	$\bar{\epsilon}$ max [daN/cm ²]	Δ max. mmx 10 ⁻²	Contract an elab.
P1 (P11)	0.00	226	2.71	3250	15.5	55	170,1980
P2 (P12)	0.00	226	4.71	4500	21.4	60	170,1980
P3 (P2)	0.00	230	5.00	4250	20.2	37	303,1979
P4 (P13)	0.00	226	6.71	5250	25.0	56	170,1980
P5 (P14)	0.00	226	8.71	6500	30.9	44	1980
P6 (P15)	0.00	226	10.71	3500	16.7	93	1980
P7 (P21)	0.23	242	2.71	4250	20.2	27	1980
P8 (P11)	0.23	245	2.71	6000	28.6	34	1981
P9 (P21)	0.23	301	2.71	6600	31.4	101	1981
P10 (P31)	0.23	386	2.71	7000	33.3	98	1981
P11 (P22)	0.23	242	4.71	5950	28.3	55	1980
P12 (P23)	0.23	242	6.71	6250	29.7	90	1980
P13 (P12)	0.23	245	6.71	6400	30.5	25	1981
P14 (P22)	0.23	301	6.71	7750	36.9	90	1981
P15 (P32)	0.23	386	6.71	8450	40.2	64	1981
P16 (P24)	0.23	242	8.71	7550	35.9	90	1980
P17 (P25)	0.23	242	10.71	7250	34.5	63	1980
P18 (P13)	0.23	245	10.71	6750	32.1	122	1981
P19 (P23)	0.23	301	10.71	8800	41.9	76	1981
P20 (P33)	0.23	386	10.71	9000	42.9	93	1981
P21 (P31)	0.46	193	2.71	5.500	26.2	60	1980
P22 (P32)	0.46	193	4.71	5.000	23.8	55	1980
P23 (P3)	0.46	230	5.00	5.400	25.7	68	303,1979
P24 (P33)	0.46	193	6.71	6.250	29.7	73	1980
P25 (P34)	0.46	193	8.71	6.000	28.6	37	1980
P26 (P35)	0.46	193	10.71	5.500	26.2	40	1980

4.3.1. Elemente experimentale

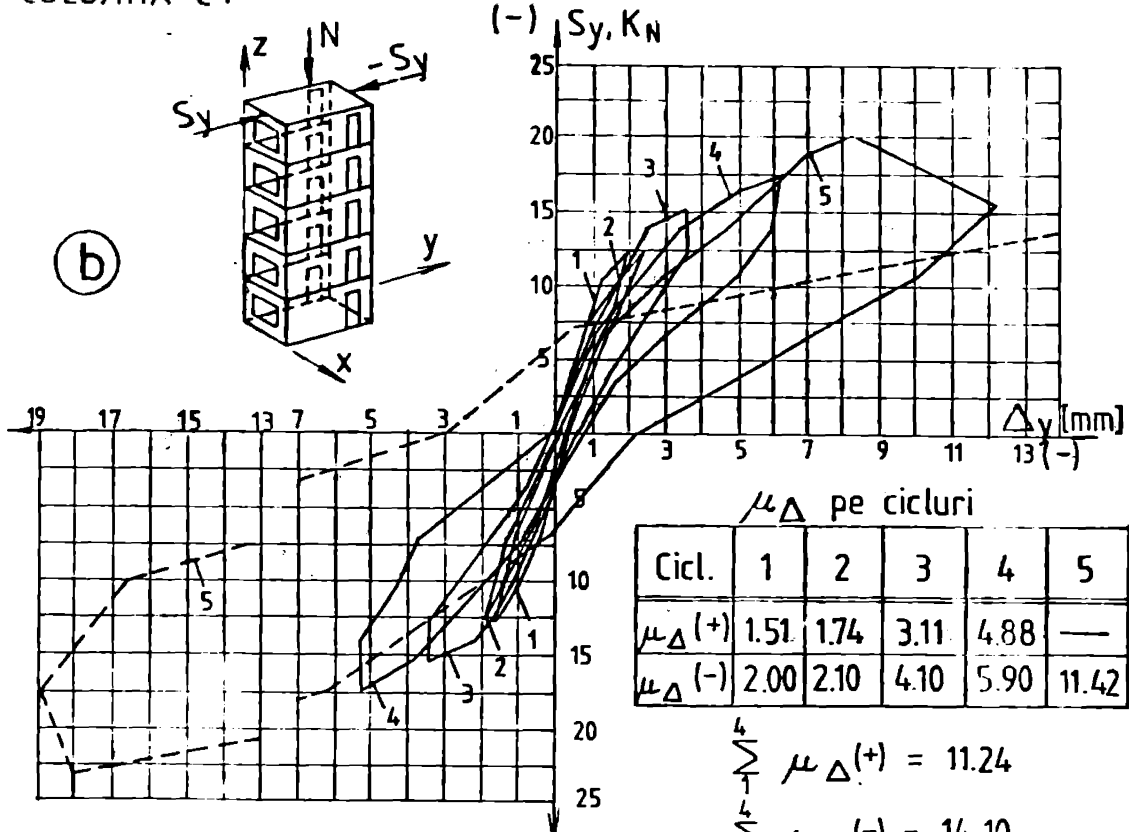
La efectuarea încercărilor se fost folosite două tipuri de elemente experimentale : tipul A care realizează bordura reală și tipul B, realizat din beton de rezistență mai mare și are un suplimentar, pentru ca cedarea să se producă în toate cazurile la elementul de tip A, folosit pentru rezonanță și transmitere a încercărilor.

Montajul elementelor experimentale s-a făcut cu ajutorul

4.100.

Prin experimentare s-au determinat caracteristicile de rezistență și deformabilitate ale îmbinărilor, încercate cu forțe la-

COLOANA C1



μ_{Δ} pe cicluri

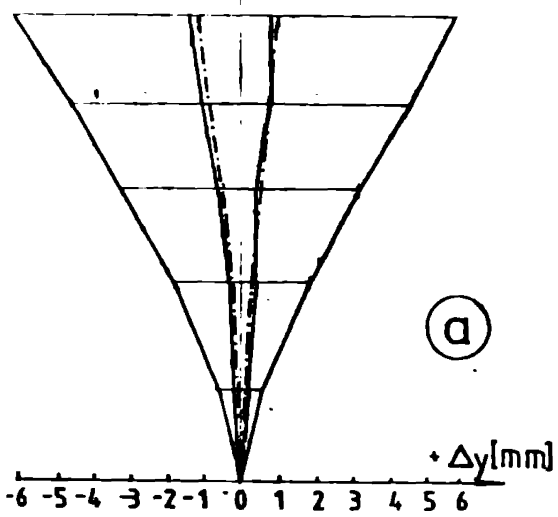
Cicl.	1	2	3	4	5
$\mu_{\Delta (+)}$	1.51	1.74	3.11	4.88	—
$\mu_{\Delta (-)}$	2.00	2.10	4.10	5.90	11.42

$$\sum_{i=1}^4 \mu_{\Delta (+)} = 11.24$$

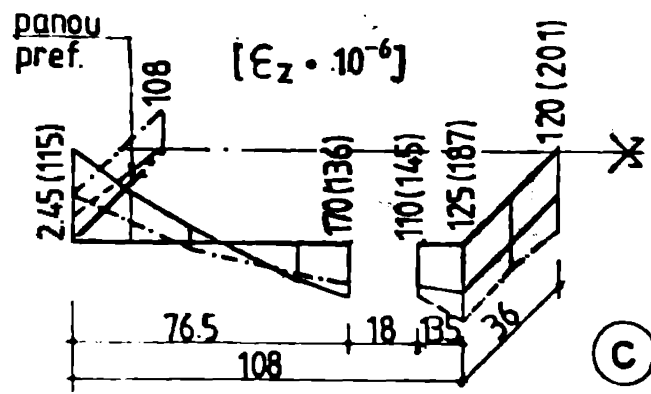
$$\sum_{i=1}^4 \mu_{\Delta (-)} = 14.10$$

$$\mu_{\Delta, i} = \frac{\Delta_i}{\Delta_p}$$

$$\frac{\Delta_4 (-) = 6.2}{10.5 = \Delta_p (-)} \quad \frac{\Delta_4 (+) = 5.3}{\Delta_p (+) = 1.09}$$

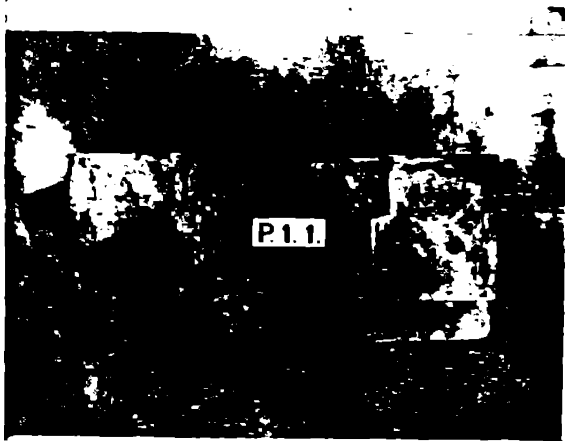
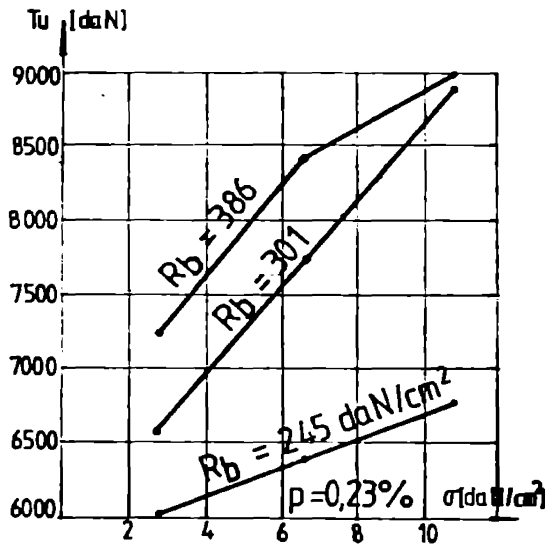
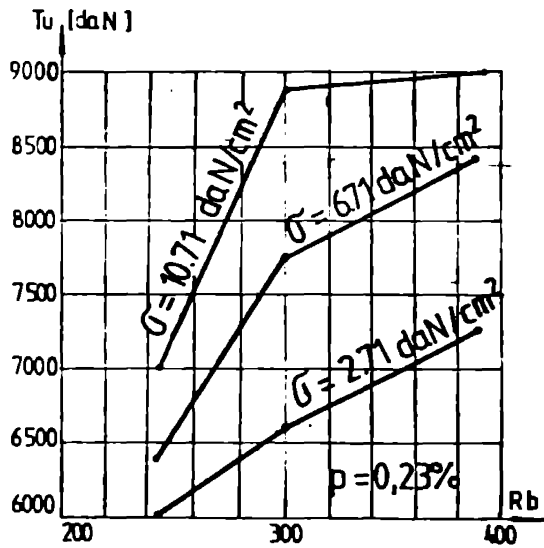
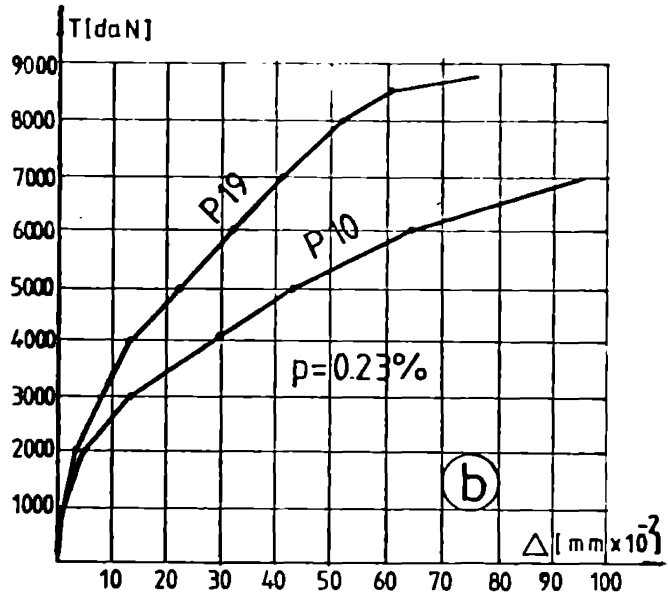
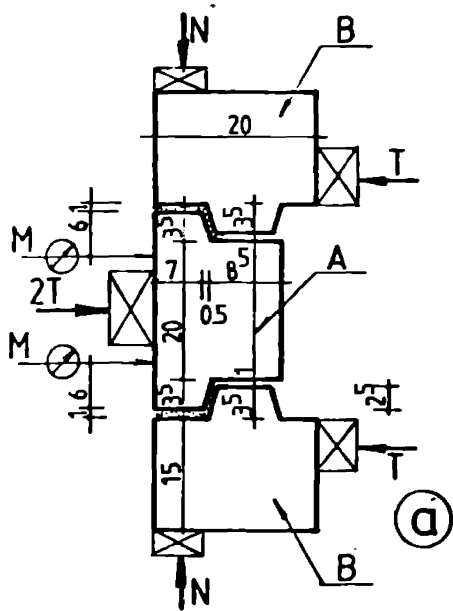


- valori măsurate
- - - valori calculate cu MEF
- Δ_p = deplas. la initierea def. plastice in ciclul 1
- Δ_4 = deplas. max. in ciclul 4



- Deform spec. ϵ_z la parter din $S_y = 1225$ daN
- valori experimentale
 - - - valori din calc. cu MEF

Fig. 4.3



(1981)



(1981)

Fig. 4.4

57

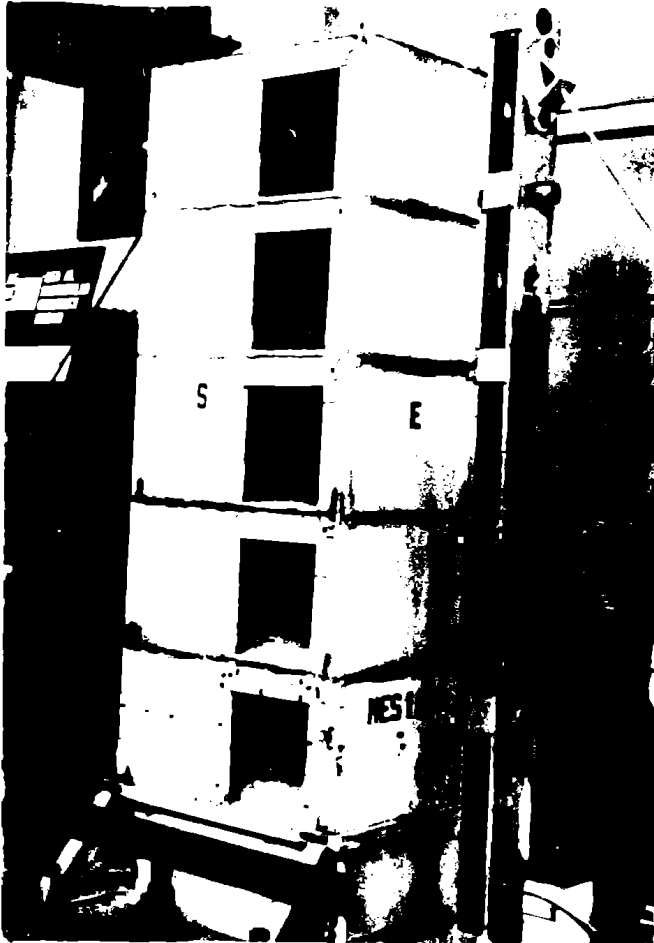


Fig.4.5
Coloana C₂

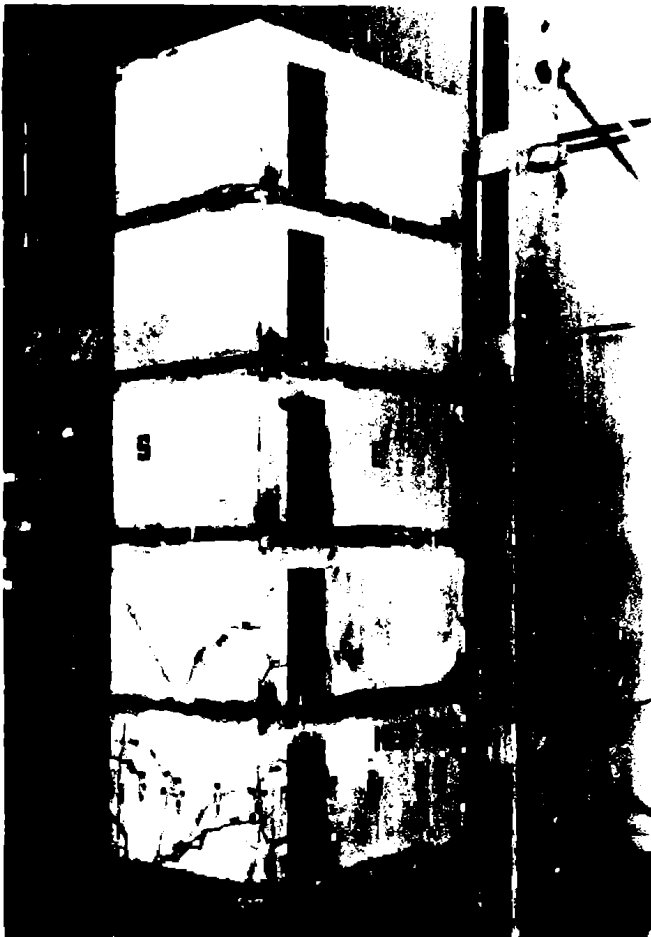


Fig.4.6
Coloana C₃

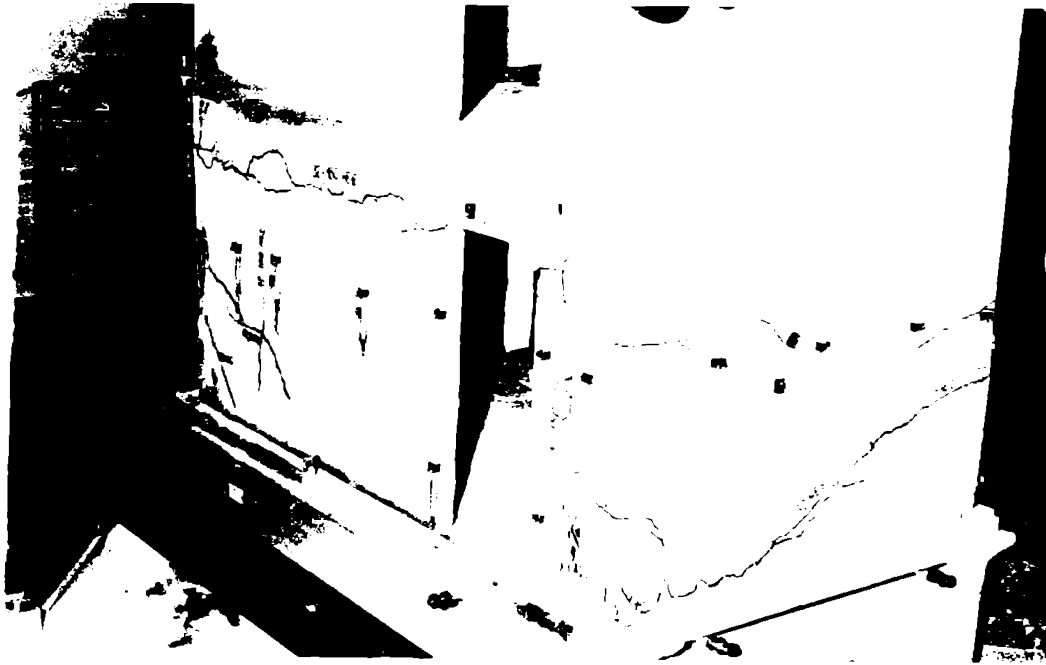


Fig. 4.7 Coloana C3

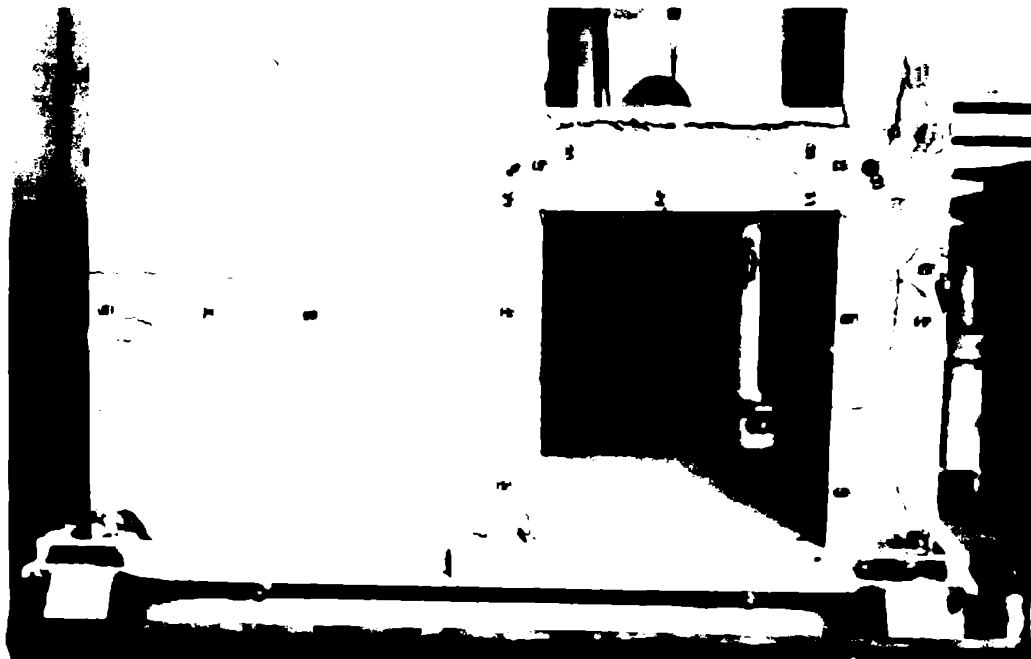


Fig. 4.8 Coloana C2

terale T , în prezența forțelor verticale (normale) N (fig. 4.4 a), în funcție de rezistența (marca) betonului, procentul de armare al bordurii și mărimea efortului unitar de compresiune σ în rost (produs de forța normală N). Încărcările N și T au fost efectuate cu ajutorul unor prese prevăzute cu manometru. Au fost măsurate, cu microcomparatoare (M) deplasările orizontale (Δ) ale elementelor de tip A în raport cu elementele B (fig. 4.4 a)

Elementele experimentale (tabel 4.3.) au fost încărcate cu forțe orizontale (T) crescătoare, în trepte, de la zero până la rupere (T_u).

4.3.2 Rezultatele încercărilor.

Pentru toate elementele încercate au fost trasate curbele caracteristice $T - \Delta$, exemplificate în fig. 4.4.b. Deplasările maxime (Δ_{max}) și forțele orizontale de rupere (T_u) sînt înregistrate în tabelul 4.3. Ruperea elementelor încercate s-a produs, în toate cazurile, în secțiuni înclinate, la eforturi unitare principale (fig. 4.4. e, f).

Diagrama caracteristică $T - \Delta$ a elementului experimental P.14 (fig. 5.55 b) a fost utilizată la experimentările numerice pe coloane de elemente spațiale (5.4.2).

Analizîndu-se rezultatele experimentărilor (tabel 4.3) se pot face următoarele constatări :

a) Încărcările orizontale de rupere (T_u) cresc cu creșterea rezistenței betonului (fig. 4.4 d);

b) Încărcările orizontale de rupere (T_u) cresc odată cu creșterea procentului de armare (tabel 4.3.) ;

c) Încărcările orizontale de rupere (T_u), cresc funcție de mărimea efortului unitar de compresiune în rost (fig. 4.4. b, c);

d) Avîndu-se în vedere modul de rupere apare necesara armarea transversală a bordurii; procentul optim de armare este de 0.2 la 0.5 %.

e) Comparînd eforturile unitare tangențiale de rupere (σ_{max}), cu eforturile unitare de calcul (σ_{calc}) în faza de exploatare, pentru clădiri cu 5 niveluri, amplasate în zone cu gradul 7 de protecție antisismică, în cazul preluării integrale a forțelor tăietoare din rosturile orizontale prin borduri perimetrice ($\sigma_{calc, max.} = 5 \dots 7 \text{ daN/cm}^2$), rezultă coeficienți de siguranță de 4 la 6. Se cunoaște însă că o bună parte din aceste eforturi tangențiale sînt preluate prin frecare, coeficienții de siguranță fiind și mai mari.



Fig.4.9 Coloana C₃



Fig.4.10 Coloana C₃

5. ANALIZA PRIN CALCUL A STRUCTURILOR SI A ELEMENTELOR COMPONENTE.

5.1. METODA PENTRU CALCULUL STRUCTURILOR DIN ELEMENTE SPAZIALE.

5.1.1. Metode de calcul aplicate in străinătate.

Metoda DROZDOV. Prima metodă de calcul specifică structurilor din elemente spațiale, a fost elaborată, în U.R.S.S., de către prof. P.F.Drozdov [53, 54, 100] ea se referă la structuri alcătuite din colcane de elemente spațiale, legate între ele cu plăcuțe metalice sudate, amplasate la colțuri, în planul planșeelor de tavan. Legăturile între colcane fiind deformabile, nu pot asigura comportarea de șabla rigide a planșeelor clădirii; planșeele sînt considerate indeformabile numai în limita conturului colcanei. Legăturile de tip plăcuță metalică, pot prelua numai eforturi axiale și forțe tăietoare în plane orizontale. În metoda de calcul, colcanele de elemente spațiale sînt tratate ca bare cu pereți subțiri, rigidizate în plan orizontal prin planșeele elementelor suprapuse, și conectate între ele, în cadrul structurii, cu legături deformabile, presupuse uniform repartizate pe înălțime. Încărcările verticale (din greutate proprie și sarcină utilă pe planșee) și cele orizontale (din vînt sau seism) considerate uniform, respectiv trapezoidal repartizate pe înălțime, aplicate direct pe colcană, produc asupra acestora o stare de solicitare spațială compusă din forță axială, încovoiere oblică și torsiune împiedicată. Deplasările verticale ale colcanelor sînt independente între ele; deplasările și rotațiile în plane orizontale se influențează reciproc. Relațiile de interdependență a acestor mărimi se exprimă prin sisteme de ecuații diferențiale pentru fiecare colcană. Prin rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale aferent tuturor colcanelor structurii se obțin eforturile și deformațiile în barele cu pereți subțiri și în legăturile acestora (5.5).

Metoda THIERP [110]. A fost elaborată de către institutul cu același nume de la Moscova, pentru structuri alcătuite din elemente spațiale rezemate pe colțuri și îmbinate cu legături prevăzute la colțuri. În ansamblul structural se folosește un model de elemente spațial, avînd toți pereții plini, care încează numai la torsiune din încărcarea cu sarcini concentrate la colțuri și are fețele solicitate la forfecare pură. Legăturile între elementele spațiale sînt modelate cu bare elastice care preiau numai eforturi axiale. Procedul de calcul al structurii în ansamblu se înscrie în metoda

generală a forțelor din statica construcțiilor. Sistemul de bază inițial al structurii este elementul spațial exterior static determinat cu legături elastic-deformabile. Deplasările unitare pe direcțiile gradelor de libertate elastică, care formează matricea de flexibilitate a elementului, sînt alcătuite din două componente: deplasarea rezultată din deformațiile unghiulare ale fețelor elementului solicitate la forfecare pură și deplasarea rezultată din deformațiile legăturilor. Pentru calculul ansamblului s-au elaborat programe la calculatorul electronic. La stabilirea algoritmului s-a amplificat treptat sistemul de bază, de la elementul spațial exterior static determinat cu legături deformabile, la colcanii de elemente spațiale static determinată, pînă la profilul transversal alcătuit din două colcane (fig.5.68 b). Pereții cu goluri sînt înlocuiți cu pereți plini avînd rigiditatea la forfecare echivalentă. Metoda este aplicată și la calculul de ansamblu al structurilor din elemente spațiale rezemate liniar; în acest caz rigiditatea resturilor orizontale este concentrată în colțurile elementelor [116], [156].

Metoda prezentată se folosește la calculul deplasărilor structurii și a eforturilor în legături; calculul elementelor spațiale se face cu metodele teoriei elasticității la încărcările direct aplicate și la forțele din legături, rezultate din calculul de ansamblu.

Jean Lugez, de la CSTB, Paris, a elaborat principiile de calcul al structurilor din elemente spațiale, executate cu procedeele SIGMA, în sistemul constructiv SCCT [1]. Sînt indicate două metode :

- În prima metodă (simplificată), colcanele de elemente spațiale sînt considerate independente; fiecare colcană echilibrează eforturile provenite din încărcările direct aplicate. Se fac verificări asupra posibilității de transmitere prin frecare a forțelor orizontale între elementele suprapuse, în absența ridicării de pe reazeme a acestora.

- În a doua metodă se ia în considerație posibilitatea de repartizare a forțelor orizontale prin legăturile din planșeele planșelor. Această repartiție se face proporțional cu rigiditatea colcanelor astfel legate. Se presupune că legăturile nu transmit solicitarea tangențială verticală. Rigiditățile colcanelor sînt calculate plecînd de la deformațiile de încoviere și de forfecare ale pereților paraleli cu direcția forțelor orizontale considerate și țînînd cont de goluri. Se fac verificări asupra posibilității

de transmitere a forțelor orizontale prin frecare între elemente spațiale și reazeme și asupra condiției ca elementele spațiale să nu se ridice de pe reazeme.

5.1.2. Metode de calcul aplicate în R.S. România.

Structurile din elemente spațiale asamblate cu îmbinări de monolitizare din beton armat, continuu, verticale și orizontale, executate de I.C.I.M. Brașov în prima perioadă (până în 1974), au fost asimilate cu structuri din diafragme și calculate cu metodele aplicate acestora [20, 108].

La structurile alcătuite din coloane de elemente spațiale îmbinate între ele cu legături care nu preiau solicitări tangențiale în plane verticale, dar asigură comportarea de șaibe rigide a planșeelor, au fost adoptate trei modele de calcul (5.4.1), [23], [24, 165].

Modelul barelor - MEB : coloanele sînt echivalate cu bare verticale de tip consolă caracterizate prin aria și momentele de inerție ale secțiunii nete (se admite că întreaga secțiune orizontală a coloanei este activă și că riglele de cuplare sînt pene rigide) [167].

Modelul diaframelor - MED : coloanele sînt fragmentate în diafragme pline și cu goluri conectate între ele, la nivelul planșeelor, cu penduli indeformabili (fig. 5.46 b). Diafragmele pline sînt înlocuite cu bare verticale iar diafragmele cu goluri, cu cadre etajate (fig. 5.46 c). Secțiunile active ale diaframelor și riglelor de cuplare, modulii de elasticitate convenționali pentru rigle (E_r) și deschiderile de calcul (L , l_r), sînt stabilite în conformitate cu prevederile din instrucțiunile P.65-82 [163], (fig. 5.46 a).

- Modelul de calcul cu elemente finite - MEF : elementele spațiale componente sînt discretizate în elemente finite de membrană (fig. 5.45 a) și sînt asamblate în coloană ca în schema din fig. 5.45 d; (în această schemă sînt folosite și elemente finite de bară - desenate cu două cerușe la extremități - cu care sînt modelate secțiunile active ale riglelor de cuplare - determinate după instrucțiunile P.65-82 - și efectul de rigidizare orizontală a planșeelor - înlocuite în schema din fig. 5.45 d cu cîte un singur element finit de membrană).

Analiza statică și seismică a structurilor din elemente spațiale, cu aplicarea unuia din modelele prezentate, se face prin parcurgerea următoarelor etape :

a) Determinarea rigidităților la deplasări laterale ale coloanelor, (rigiditatea unei coloane este definită prin înălțimea echivalentă, distribuită triunghiurilor pe muchiile coloanei, ca în fig. 5.59, care produce o deplasare unitară la nivelul caracteristic egal cu 0,8 din înălțimea construcției [3]);

b) Coloanele sînt asimilate cu console verticale de secțiune constantă, caracterizate prin momente de inerție echivalente, care au aceeași rigidități la deplasări laterale;

c) Calculul de ansamblu al structurii alcătuite din console echivalente legate între ele cu planșee indeformabile. În această etapă calculul se poate face pe baza unui program de calcul a structurilor din bare (de exemplu programul CASĂ [172]);

d) Determinarea stărilor de efort - deformație ale coloanelor în baza rezultatelor seismice rezultate în etapa c, pe modelul de calcul adoptat (MEB, MEB, MEF).

La calculul cu modelul MEB nu sînt necesare etapele a) și b); momentele de inerție ale secțiunilor nete ale coloanelor sînt, în acest caz, totuși momentele de inerție echivalente.

Modelul MEB a fost folosit la elaborarea de ICIM în 1977 a proiectelor tip pentru clădiri de locuit cu structuri din elemente spațiale; la revizuirea din 1979 a acestora s-a aplicat modelul MEF [165].

În vederea efectuării unui calcul spațial unitar pentru structură și elementele componente, se prezintă în continuare procedeul macroelementelor, adoptat de autorul prezentei lucrări.

5.2. ANALIZA DE DEFORMAȚII ÎN ELEMENTE SPAȚIALE CU PROCEDURELE MACROELEMENTELOR.

Structura unei clădiri din elemente spațiale fiind foarte complexă, calculul ei în ansamblu, precum și a elementelor componente pune probleme deosebite. Metoda generală de analiză, care conduce la rezolvări corespunzătoare, cu folosirea calculatoarelor electronice, este metoda elementelor finite (MEF), [12], [17], [20]. Se poate afirma că cu MEF, prin adoptarea unor programe mari și utilizarea unor calculatoare adecvate, orice structură poate fi rezolvată satisfăcător.

O cale de optimizare a analizei și de reducere a timpului necesar, constă în extinderea conceptului de modularitate de la alcătuirea structurilor (Cap.3), la calculul acestora. În acest sens, se adoptă în prezenta lucrare, procedeul de analiză

prin fragmentarea ansamblului structural în substructuri sub forma elementelor componente din care acesta este alcătuit. Elementele componente, denumite macroelemente, sînt considerate, în prima fază de analiză, ca structuri separate, discretizate în elemente finite, iar în fașa a doua sînt asamblate în structură după principiile stabilite în metoda elementelor finite. Procedul se înscrie în Metoda generală a deplasărilor ca metodă de analiză matriceală a structurilor [66, 40, 65]. În funcție de alcătuire, structura poate fi schematizată și divizată în macroelemente și elemente finite (fig. 5.1, 5.9). Macroelementele pot fi: elemente spațiale, panouri de planșeu, panouri de pereți, coloane de elemente suprapuse, nuclee structurale alcătuite din pereți și planșee etc. Îmbinările reale ale elementelor componente în structură, realizate prin manșonizări de beton armat (fig. 3.7, 3.9), sau cu plăcuțe metalice (fig. 3.7) sînt modelate în cadrul schemei, cu bare echivalente articulate la capete. Condiția de echivalență, exprimată prin egalitatea rigidității modelului cu a îmbinării reale, conduce la stabilirea caracteristicilor geometrice și de rigiditate ale barelor echivalente. Rigiditatea luată în considerare pentru îmbinarea reală poate fi stabilită analitic sau în baza cercetărilor experimentale. Macroelementele sînt tratate ca elemente finite complexe, caracterizate prin numărul și poziția nodurilor de conexiune în structură, numite noduri caracteristice, numărul și tipul gradelor de libertate elastice ale acestora și prin matricea de rigiditate referitoare la nodurile caracteristice.

Principial, analiza stărilor de eforturi și deformații, cu procedul macroelementelor, se face în două faze.

În prima fază, pe sistemul de bază geometric nedeterminat al macroelementului, obținut prin blocarea deplasărilor pe direcțiile gradelor de libertate ale nodurilor caracteristice (c), se scrie ecuația generală de echilibru a macroelementului ca structură separată, discretizată în elemente finite:

$$\text{unde :} \quad M\Delta = F \quad (5.1)$$

M este matricea de rigiditate a structurii macroelementului asamblată din matricole elementelor finite componente ;

Δ este vectorul deplasărilor tuturor nodurilor ;

F este vectorul care colectează încărcările nodale echivalente.

Deoarece matricea de rigiditate M se rearanjează și se partiționează după deplasările nodurilor interioare (libere) $\Delta_i^{(1)}$ și caracteristice (blocate) $\Delta_c^{(1)}$, grupate separat, sistemul de ecuații (5.1) devine :

$$\begin{bmatrix} M_{ii} & M_{ic} \\ M_{ci} & M_{cc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta_{i,M}^{(1)} \\ \Delta_{c,M=0}^{(1)} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_{i,M} \\ F_{c,M} \end{Bmatrix} \quad (5.2)$$

unde $F_{i,M}$ și $F_{c,M}$ sînt vectorii încărcărilor echivalente în nodurile interioare (i), respectiv caracteristice (c).

Dezvoltat (5.2) se poate scrie :

$$M_{ii} \Delta_{i,M}^{(1)} = F_{i,M} \quad (5.3a) ; \quad M_{ci} \Delta_{i,M}^{(1)} = F_{c,M} \quad (5.3b)$$

din (5.3a) rezultă deplasările nodurilor interioare ale macroelementului ca structură separată (în prima fază).

$$\Delta_{i,M}^{(1)} = M_{ii}^{-1} F_{i,M} \quad (5.4a)$$

și din (5.3b) vectorul reacțiunilor din blocajele nodurilor caracteristice.

$$F_{c,M} = M_{ci} M_{ii}^{-1} F_{i,M} \quad (5.4b)$$

Reacțiunile din blocaje cu semn (sens) schimbat se aplică drept încărcări echivalente în nodurile caracteristice ale macroelementului [40].

Vectorul încărcărilor nodale echivalente ($F_{e,M}$) se determină cu relația :

$$F_{e,M} = F_{n,M} - M_{ci} M_{ii}^{-1} F_{i,M} \quad (5.5)$$

unde $F_{n,M}$ este vectorul încărcărilor direct aplicate în nodurile caracteristice.

În faza a doua este analizat ansamblul structural, alcătuit din n macroelemente și E elemente finite conectate în nodurile structurii (n). Macroelementele, cu nodurile caracteristice deblocate, sînt tratate ca elemente finite complexe.

Relațiile constitutive ale acestora, similare cu ale elementelor finite, exprimă legătura între eforturile nodale (forțele generalizate) Q_M și deplasările nodurilor caracteristice (deplasările generalizate) $\Delta_{c,M}^{(2)}$

$$K_M \Delta_{c,M}^{(2)} = Q_M \quad (5.6)$$

unde K_M este matricea de rigiditate a macroelementului referitoare la nodurile caracteristice.

În analiza pe structură, macroelementele sînt considerate încărcate numai în nodurile caracteristice. Forțele care asigură echilibrul acestora sînt eforturile nodale de intersecțiune Q_M .

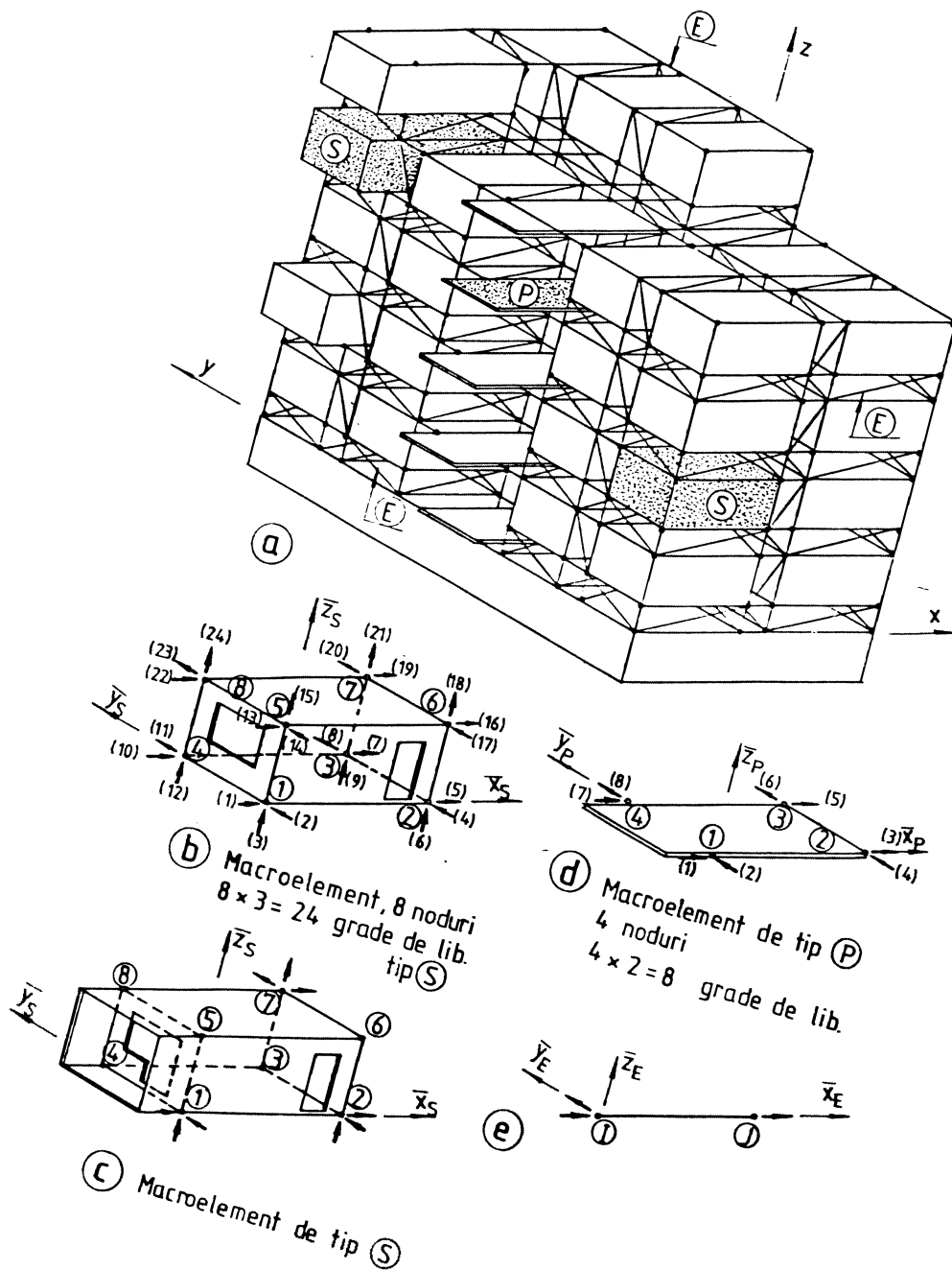
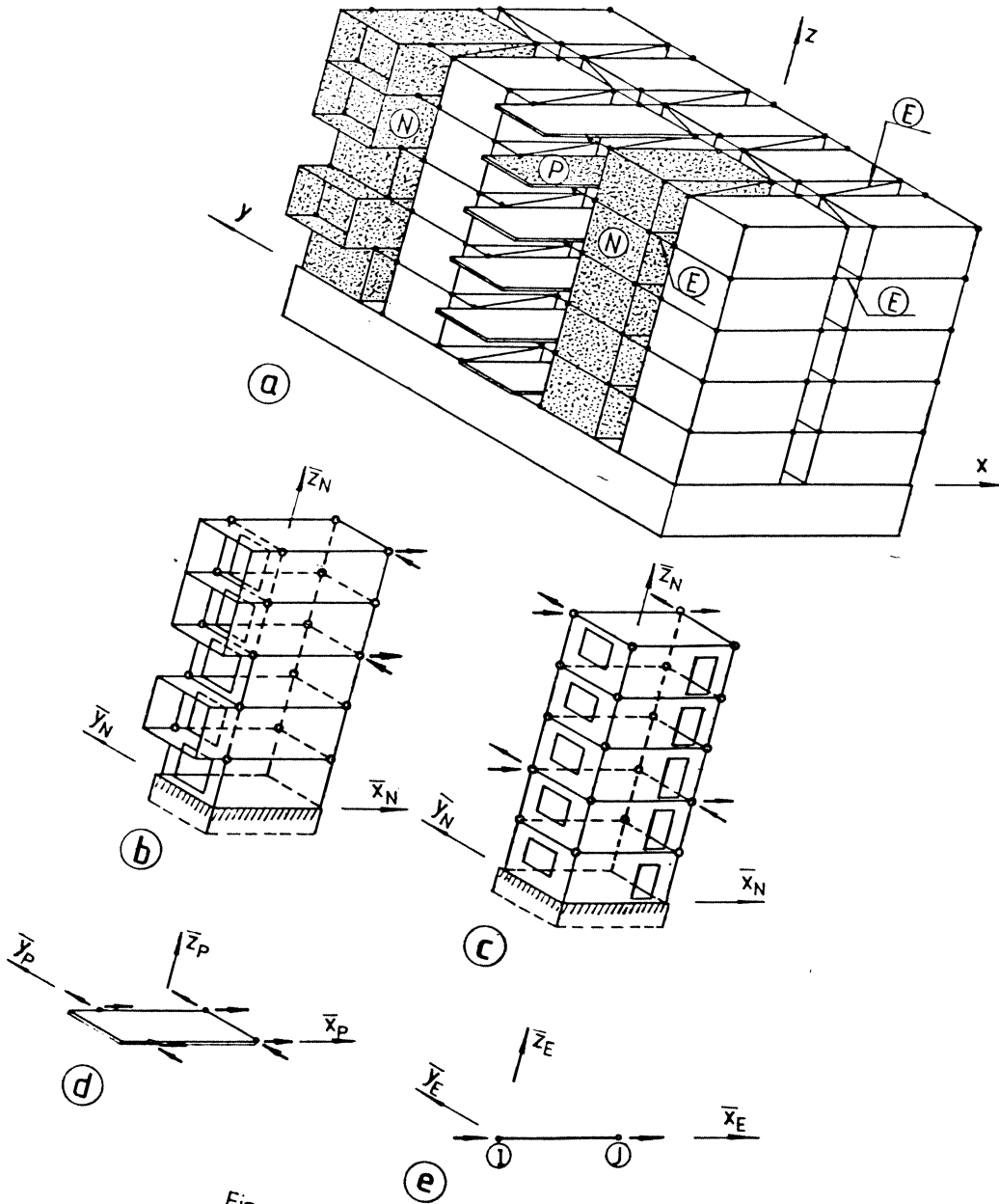


Fig. 51



In aceste condiții sistemul de ecuații (5.2.) poate fi scris :

$$\begin{bmatrix} M_{ii} & M_{ic} \\ M_{ci} & M_{cc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta_{i,M}^{(2)} \\ \Delta_{c,M}^{(2)} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_{i,M=0} \\ Q_M \end{Bmatrix} \quad (5.7)$$

care dezvoltat este :

$$M_{ii} \Delta_{i,M}^{(2)} + M_{ic} \Delta_{c,M}^{(2)} = 0 \quad (5.8a); \quad M_{ci} \Delta_{i,M}^{(2)} + M_{cc} \Delta_{c,M}^{(2)} = Q_M \quad (5.8b)$$

din (5.8a) rezultă vectorul deplasărilor nodurilor interioare ale macroelementului ($\Delta_{i,M}^{(2)}$) din încărcările pe structură (față a două).

$$\Delta_{i,M}^{(2)} = -M_{ii}^{-1} M_{ic} \Delta_{c,M}^{(2)} \quad (5.9)$$

care înlocuit în (5.8b) conduce la relație :

$$(M_{cc} - M_{ci} M_{ii}^{-1} M_{ic}) \Delta_{c,M}^{(2)} = Q_M \quad (5.10)$$

Comparând (5.10) cu (5.6) rezultă matricea de rigiditate a macroelementului

$$K_M = M_{cc} - M_{ci} M_{ii}^{-1} M_{ic} \quad (5.11)$$

care are semnificația unei matrice condensate.

In baza condiției de continuitate a deplasărilor, care exprimă egalitatea în fiecare nod (i) al structurii, dintre vectorul deplasărilor nodului ($D^{(i)}$) și vectorul deplasărilor nodurilor caracteristice ale macroelementelor ($\Delta_{c,M}^{(i)}$) și elementelor finite ($\Delta_E^{(i)}$), care concurează în acel nod, se poate scrie :

$$\Delta_{c,M}^{(i)} = \Delta_E^{(i)} = D^{(i)} \quad (5.12)$$

Ținând cont de (5.12) relațiile constitutive ale unui macroelement, respectiv ale unui element finit care intră în compoziția ansamblului structural, sînt :

$$Q_M = K_M D \quad (5.13a); \quad Q_E = K_E D \quad (5.13b)$$

unde K_E reprezintă matricea de rigiditate a elementului finit iar Q_E este vectorul forțelor generalizate din nodurile elementului finit.

Condiția de echilibru static, din metoda generală a deplasărilor, exprimă egalitatea în fiecare nod (n) al structurii, între vectorul acțiunilor exterioare de pe nod (A_n) și suma forțelor generalizate ale macroelementelor și elementelor finite din nodurile caracteristice, care sînt conectate în nodul respectiv.

Pentru întreaga structură, alcătuită din (M) macroelemente și (E) elemente finite, conectate în (n) noduri, condiția de echilibru se exprimă prin relație :

$$A = \sum_1^M Q_M + \sum_1^E Q_E \quad (5.14)$$

unde :

$$A = A_n + \sum_1^M F_{e,M} + \sum_1^E F_{e,E} \quad (5.15)$$

• A_n este vectorul acțiunilor exterioare pe întreaga structură;

• A_D este vectorul acțiunilor aplicate direct în nodurile structurii ;

• $F_{e,M}$ este vectorul încărcărilor echivalente aplicate în nodurile caracteristice ale macroelementului (5.9);

• $F_{e,E}$ este vectorul încărcărilor echivalente aplicate în nodurile elementului finit.

Dacă înlocuim expresiile (5.15), (5.13a) și (5.13b) în (5.14) obținem :

$$A = \sum_1^M K_M D + \sum_1^E K_E D \quad (5.16a)$$

$$A = \left(\sum_1^M K_M + \sum_1^E K_E \right) D \quad (5.16b)$$

$$\text{Notînd} \quad K = \sum_1^M K_M + \sum_1^E K_E \quad (5.17)$$

se obține relația (5.18), care reprezintă sistemul general al ecuațiilor de echilibru al structurii.

$$A = K \cdot D \quad (5.18)$$

în care :

K este matricea de rigiditate a structurii asamblată din matricele de rigiditate ale macroelementelor și elementelor finite.

D este vectorul deplasărilor tuturor nodurilor structurii, necunoscuta problemei.

Prin rezolvarea sistemului de ecuații (5.18) [17 și 40] rezultă deplasările nodurilor (D) și reacțiunile din zăcășele structurii, cu relația (5.12) se determină deplasările nodurilor caracteristice ale macroelementelor și elementelor finite (Δ_C și Δ_E), iar cu relația (5.9) deplasările nodurilor interioare ale macroelementelor, în faza a doua de calcul ($\Delta_i^{(2)}$). Deplasările finale vor fi calculate prin însumarea deplasărilor obținute în cele două faze.

$$\Delta_i = \Delta_i^{(1)} + \Delta_i^{(2)} \quad (5.19)$$

În baza deplasărilor D, Δ_C, Δ_i , cunoscute se pot determina eforturile, deformațiile specifice și tensiunile din elementele finite sferice ale macroelementelor și structurii, atât pe faza cî și finale.

Pentru simplificarea scrierii relațiilor, s-a considerat, în prezentarea procedurii, un sistem unic de axe de coordonate

și un sistem unic de numerotare a nodurilor pentru macroelemente, elemente finite și structura.

Schemă bloc a operațiilor în analiza cu procedeul macroelementelor este redată în fig. 5.15.

Calculul practic al structurilor, conform procedurii macroelementelor, este dezvoltat în continuare în trei variante, stabilite funcție de alcătuirea ansamblului structural și schematizarea acestuia.

5.2.1. Procedeul macroelementelor. Varianta A.

Aste o particularizare a procedurii descrise la 5.2., pentru a fi aplicat la :

a) structuri alcătuite din elemente spațiale rezemate concentrat,

b) structuri mixte, alcătuite din elemente spațiale rezemate concentrat și panouri de plinșeu.

Elementele spațiale și panourile sînt tratate ca macroelemente; asamblarea lor în structură se poate face direct, prin conectarea nodurilor caracteristice, sau prin intermediul unor elemente de îmbinare care sînt echivalente cu bare și tratate ca elemente finite. Analiza efectivă a unei structuri necesită parcurgerea etapelor prezentate în continuare.

5.2.1.1. Schematizarea structurii.

Schematizarea structurii constă în modelarea acesteia în vederea calculului. În cadrul schemei se stabilesc : tipurile de macroelemente (S = element spațial, P = panou), modelarea îmbinărilor cu bare echivalente (tratate ca elemente finite, μ) numărul și poziția nodurilor de conexiune, sistemul general de axe (X, Y, Z) al structurii, sistemele locale de axe ale macroelementelor ($\bar{X}_S, \bar{Y}_S, \bar{Z}_S$ respectiv $\bar{X}_P, \bar{Y}_P, \bar{Z}_P$) și al elementelor finite ($\bar{X}_E, \bar{Y}_E, \bar{Z}_E$). Pentru fiecare tip de macroelement se stabilesc numărul și tipul gradelor de libertate elastică ale nodurilor caracteristice.

În fig. 5.1.a este prezentată schemă unei structuri alcătuite din elemente spațiale rezemate pe colțuri și panouri de plinșeu rezemate liniar pe pereții elementelor spațiale adiacente. Elementele spațiale și panourile de plinșeu sînt îmbinate cu legături prevăzute în colțurile acestora. Îmbinările au capacitatea de a prelua forțe normale și forțe tăietoare în rosturile verticale și orizontale.

În această schemă, elementele spațiale (S) sînt tratate ca macroelemente cu cîte trei grade de libertate pe fiecare nod ca-

caracteristic (translațiile după axele $(\bar{X}_S \bar{Y}_S \bar{Z}_S)$), penourile (P) ca macroelemente cu câte două grade de libertate pe fiecare nod caracteristic (translațiile după axele $\bar{X}_P \bar{Y}_P$), iar barele echivalente de îmbinare ca elemente finite cu un grad de libertate pe fiecare nod (translație după axa \bar{X}_E a barei).

Funcția de alcătuirii constructivă și poziția legăturilor în structură, macroelementele pot avea noduri caracteristice suprapunțurate (fig. 5.2.).

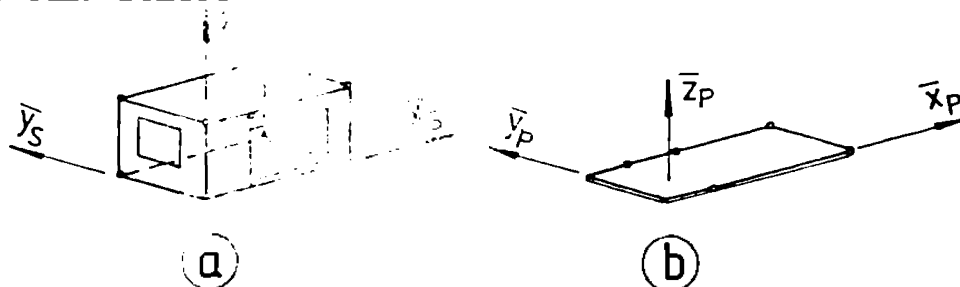


Fig. 5.2

În cazul curent de îmbinare, cu plăcuțe metalice care leagă elementele spațiale adiacente în plan orizontal la nivelul planșelor, amplasate în calțuri, schema de calcul se simplifică prin eliminarea barelor echivalente prevăzute pentru prelucșarea forțelor torsiune din resturile verticale.

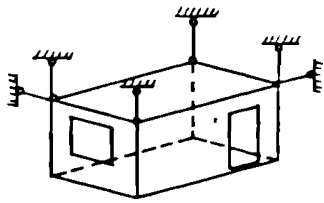
În această etapă se stabilește și topologia structurii : numerotarea nodurilor de conexiune, gruparea și numerotarea macroelementelor și elementelor finite.

5.2.1.2. Calculul macroelementelor ca structuri separate.

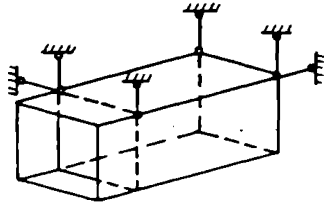
Calculul macroelementelor ca structuri separate, se efectuează pe sistemele de bază geometric nedeterminate, stabilite funcție de tehnologia de execuție și de modelarea structurii (fig. 5.1.), la încărcările care se aplică pe acestea.

În fig. 5.3, 5.4 și 5.5. sînt prezentate, exemplificativ, cîteva sisteme de bază geometric nedeterminate.

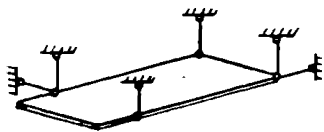
Calculul elementelor spațiale și a penurilor de planșeu, în ipoteza de montaj (de prindere în dispozitivele de ridicare), se face folosind schemele din fig. 5.3. Ipoteza încărcării permanente este analizată pe schemele din fig. 5.4. Pentru încărcările care se aplică pe elementele spațiale, după îmbinarea acestora în structură (de exemplu încărcările utile pe planșeu), respectiv pe penouri în planul acestora, sistemele de bază geometric nedeterminate se obțin prin blocarea deplasărilor pe direcțiile gradelor de libertate ale nodurilor caracteristice ale macroelementelor (fig. 5.5.)



(a)

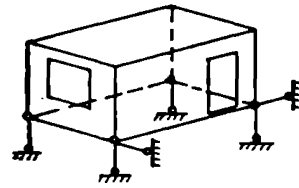


(b)

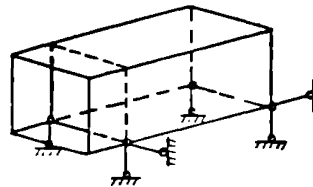


(c)

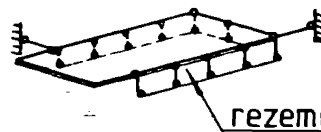
Fig. 5.3



(a)



(b)



(c)

Fig. 5.4

Punctele de suspendare-rezemare sînt în general alese în nodurile caracteristice, cu excepția panourilor, care sînt de regulă rezemate liniar pe elementele spațiale adiacente (fig.5.4.c). În ipotezele de manipulare, transport și montaj, încărcările se multiplică cu coeficienți dinamici, stabiliți în prescripții de proiectare sau caiete de sarcini [24, 29].

Pe sistemele de bază geometric nedeterminate sînt scrise în sistemele locale de axe, ecuațiile generale de echilibru ale macroelementelor, ca structuri separate, discretizate în elemente finite,

$$S\bar{\Delta}_s = \bar{F}_s \quad (5.20a)$$

$$P\bar{\Delta}_p = \bar{F}_p \quad (5.20b)$$

unde :

• S, P sînt matricile de rigiditate ale elementelor spațiale (S), respectiv panourilor (P) asamblate din matricile elementelor finite componente;

• $\bar{\Delta}_s, \bar{\Delta}_p$ sînt vectorii deplasărilor generalizate ale nodurilor rețelei de discretizare, necunoscute;

• \bar{F}_s, \bar{F}_p sînt vectorii încărcărilor generalizate din nodurile rețelei de discretizare (pentru o anumită ipoteză de încărcare).

Deci matricile S și P sînt rearanjate și partiționate după deplasările nodurilor libere ($\bar{\Delta}_l$) și de rezemă ($\bar{\Delta}_r$), grupate separat, sistemele de ecuații (5.20a) și (5.20b), devin

$$\begin{bmatrix} S_{ll} & S_{lr} \\ S_{rl} & S_{rr} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{\Delta}_{l,s} \\ \bar{\Delta}_{r,s=0} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{F}_{l,s} \\ \bar{F}_{r,s} \end{Bmatrix} \quad (5.21a)$$

$$\begin{bmatrix} P_{ll} & P_{lr} \\ P_{rl} & P_{rr} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{\Delta}_{l,p} \\ \bar{\Delta}_{r,p=0} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{F}_{l,p} \\ \bar{F}_{r,p} \end{Bmatrix} \quad (5.21b)$$

în care :

$\bar{F}_{l,s} ; \bar{F}_{l,p}$ sînt vectorii încărcărilor echivalente în nodurile libere ale macroelementelor,

$\bar{F}_{r,s} ; \bar{F}_{r,p}$ sînt vectorii reacțiunilor în reazemele macroelementelor.

În relațiile (5.21a) și (5.21b) pot fi determinați :

a) Vectorii deplasărilor nodurilor libere, în faza (1) de analiză, cu relațiile :

$$\bar{\Delta}_{l,s}^{(1)} = \bar{S}_{ll}^{-1} \bar{F}_{l,s} \quad (5.22a) ; \quad \bar{\Delta}_{l,p}^{(1)} = \bar{P}_{ll}^{-1} \bar{F}_{l,p} \quad (5.22b)$$

din care sînt selectați vectorii deplasărilor nodurilor interioare

$\bar{\Delta}_{i,s}^{(1)} ; \bar{\Delta}_{i,p}^{(1)}$ și ai nodurilor caracteristice $\bar{\Delta}_{c,s}^{(1)} ; \bar{\Delta}_{c,p}^{(1)}$. Se menționează că în sistemele de bază, prezentate în fig. 5.3a, b și 5.4 a, b unele noduri caracteristice au deplasări libere în faza (1) de analiză.

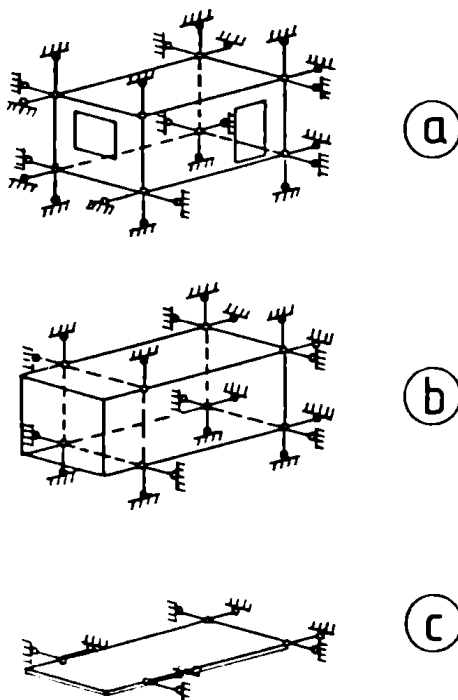


Fig 5.5

b) Vectorii încărcărilor echivalente pe liniile de rezanare ale panourilor, cu relație : $\bar{F}_{e,p} = \bar{F}_{n,p} - P_{rl} P_{ll}^{-1} \bar{F}_{l,p}$ (5.23)

unde \bar{F}_{np} este vectorul încărcărilor direct aplicate în nodurile de rezonanță. Vectorul $\bar{F}_{e,p}$ se aplică drept încărcare echivalentă pe elementele spațiale pe care rezonă panourile; dacă panourile rezonă cu excentricitate pe pereții elementelor spațiale, componentele vectorului conțin forțe și momente încovoietoare (forțe generalizate).

c) Vectorii încărcărilor echivalente în nodurile caracteristice ale elementelor spațiale, cu relația :

$$\bar{F}_{e,s} = \bar{F}_{n,s} - S_{n,l} \bar{S}_{ll}^{-1} \bar{F}_{l,s} \quad (5.24)$$

în care $\bar{F}_{n,s}$ este vectorul încărcărilor direct aplicate în nodurile caracteristice.

În această etapă de calcul se determină stările de efort - deformație ale elementelor prefabricate componente pentru încărcările din perioade de execuție (fabricație, transport, montaj), deplasările nodurilor în faza (1) de analiză și vectorii încărcărilor echivalente, care se aplică în nodurile caracteristice ale macroelementelor, pentru analiza structurii în faza a doua.

5.2.1.3. Determinarea matricelor de rigiditate ale macroelementelor.

În baza relațiilor (5.7.) și (5.1c), determinarea matricelor de rigiditate ale macroelementelor, referitoare la nodurile caracteristice, se face, prin partiționarea matricelor acestora ca structuri separate (S, P), după deplasările nodurilor interioare (i) și caracteristice (c), cu relația (5.11).

$$\bar{K}_S = S_{cc} - S_{ci} \bar{S}_{ii}^{-1} S_{ic} \quad (5.25a) ; \quad \bar{K}_P = P_{cc} - P_{ci} \bar{P}_{ii}^{-1} P_{ic} \quad (5.25b)$$

Matricile \bar{K}_S și \bar{K}_P sînt matrice pătrate, simetrice și singulare, avînd numărul de linii și coloane egal cu numărul gradelor de libertate elastică ale macroelementelor.

Pentru elementele spațiale și panourile din fig. 5.1, \bar{K}_S și \bar{K}_P au dimensiunile 24×24 respectiv 8×8 .

Căci cale de determinare a termenilor matricelor de rigiditate ale macroelementelor rezultă din aplicarea definiției acestora : termenul K_{ij} este reacțiunea în blocul i produsă de o deplasare unitară aplicată pe direcția j. De exemplu, pe sistemul de bază al elementului spațial (fig.5.5a) discretizat în elemente finite, aplicîndu-se o deplasare unitară pe direcția j a unui nod caracteristic (celelalte deplasări ale nodurilor caracteristice rămîind blocați), se obțin termenii din coloana j ai matricii de rigiditate a macroelementului S.

În acest caz, relația generală de echilibru pentru elementul s (24 de grade de libertate elastică) se poate scrie :

și dezvoltat : $K_s \Delta_s = F_s$ (5.26)

	1	2	...	i	...	j	...	24		
1						K_{1j}			$\Delta_1=0$	F1
2						K_{2j}			$\Delta_2=0$	F2
⋮						⋮			⋮	⋮
i						K_{ij}			$\Delta_i=0$	Fi
⋮						⋮			⋮	⋮
j						K_{jj}			$\Delta_j=1$	Fj
⋮						⋮			⋮	⋮
24						K_{24j}			$\Delta_{24}=0$	F24

$K_s (24 \times 24)$
(x)
 $\Delta_s (24 \times 1)$
(=)
 $F_s (24 \times 1)$
(5.27)

afectându-se în (5.27) înmulțirile matricelor K_s și Δ_s se obțin elementele de pe coloana j ale matricii de rigiditate ($\Delta_j=1$). $K_{1j} = F_1$; $K_{2j} = F_2$; ... $K_{ij} = F_j$; ... $K_{jj} = F_j$; ... $K_{24,j} = F_{24}$ (5.28)

egale cu reacțiunile în blocaje. Se observă că rigiditatea K_{jj} este forța care trebuie aplicată pe direcția j pentru a produce, pe această direcție, o deplasare unitară.

Pentru determinarea tuturor elementelor matricii, se aplică succesiv deplasări unitare pe direcția gradelor de libertate și se calculează reacțiunile în blocaje. La calculul practic se ține cont că numai o parte din termenii matricii de rigiditate se determină efectiv, întrucât în baza teoremei reciprocității lucrului mecanic, această este simetrică ($K_{ij} = K_{ji}$).

5.2.1.4. Formarea sistemului general al ecuațiilor de echilibru al structurii.

Acum ansamblul structural este compus din S macroelemente de tip element spațial, P macroelemente de tip panou și E elemente finite, ecuația generală de echilibru (5.14), în sistemul general de axe, devine

în care :
$$A = \sum_1^S Q_S + \sum_1^P Q_P + \sum_1^E Q_E \quad (5.29)$$

• A este vectorul acțiunilor (încărcărilor) exterioare pe întreaga structură, aplicat în nodurile acestora.

• Q_S , Q_P , Q_E sînt vectorii forțelor nodale generalizate din nodurile macroelementelor (S și P) și elementelor finite (E).

Vectorul A se determină cu relația (5.15).

$$A = A_n + \sum_1^S F_{e,s} + \sum_1^E F_{e,E} \quad (5.30)$$

unde :

• A_n și $F_{e,E}$ au semnificația prevăzută în relația (5.15).

• $F_{e,s}$ este vectorul încărcărilor echivalente din nodurile caracteristice ale macroelementului de tip s . Se menționează că vectorii încărcărilor echivalente din nodurile macroelementului de tip s , ($F_{e,s}$), în cazul schemei de modelare din fig. 5.1., se aplică drept încărcări, pe elementele spațiale pe care rezemă, în faza I de analiză.

Relațiile constitutive (5.13), în sistemul general de axe, sînt :

$$Q_s = K_s \Delta_{c,s} \quad (5.31a) \quad Q_p = K_p \Delta_{c,p} \quad (5.31b) \quad Q_E = K_E \Delta_E \quad (5.31c)$$

iar în sistemele locale :

$$\bar{Q}_s = \bar{K}_s \bar{\Delta}_{c,s} \quad (5.32a) \quad \bar{Q}_p = \bar{K}_p \bar{\Delta}_{c,p} \quad (5.32b) \quad \bar{Q}_E = \bar{K}_E \bar{\Delta}_E \quad (5.32c)$$

Trecerea vectorilor (forță, deplasare) din sistemul de referință propriu în sistemul de referință general și invers, se face cu ajutorul matricii de transformare. Fie un anumit vector V în spațiu cu trei dimensiuni și două sisteme de referință : sistemul propriu $\bar{X} \bar{Y} \bar{Z}$ și sistemul general $X Y Z$.

Vectorul poate fi reprezentat prin componentele $\bar{V}_x, \bar{V}_y, \bar{V}_z$ în sistemul propriu și V_x, V_y, V_z în sistemul general. Între cele două tipuri de componente pot fi scrise relațiile :

$$\begin{Bmatrix} \bar{V}_x \\ \bar{V}_y \\ \bar{V}_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x \\ l_y & m_y & n_y \\ l_z & m_z & n_z \end{bmatrix} (x) \begin{Bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{Bmatrix} \quad (5.33a)$$

$$\begin{Bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} l_x & l_y & l_z \\ m_x & m_y & m_z \\ n_x & n_y & n_z \end{bmatrix} (x) \begin{Bmatrix} \bar{V}_x \\ \bar{V}_y \\ \bar{V}_z \end{Bmatrix} \quad (5.33b)$$

unde l_i, m_i, n_i sînt cosinusii directori ai axelor $X Y Z$ (i) ale sistemului de referință local cu axele $\bar{X} \bar{Y} \bar{Z}$ ale sistemului general. Concoment, relațiile (5.33) pot fi scrise :

$$\bar{V} = T_0 V \quad (5.34a) \quad V = T_0^T \bar{V} \quad (5.34b)$$

în care T_0 este matricea ortogonală a cosinusilor directori.

Pentru mai mulți vectori care se grupează sub forma unui vector unic (cazul forțelor și deplasărilor generalizate), relația (5.33 a) ia forma :

$$\begin{Bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \vdots \\ \bar{V}_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} T_0 & & & \\ & T_0 & & \\ & & \ddots & \\ & & & T_0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{Bmatrix} \quad (5.35a)$$

respectiv, condusast : $\bar{V}_n = T V_n$ (5.35b)

Matricea T se numește matrice de transformare; ea este ortogonală, deci avem :

$$V_n = T^{-1} \bar{V}_n = T^T \bar{V}_n \quad (5.36)$$

Numărul de submatrice T_0 care constituie matricea T depinde de numărul de vectori luși în considerație, respectiv de tipul elementului tratat. Trecerea vectorilor q și Δ (5.32) din sistemele de referință proprii, în sistemul de referință global, se face cu relațiile :

$$\begin{aligned} \bar{Q}_s &= T_s Q_s & \bar{Q}_p &= T_p Q_p & \bar{Q}_E &= T_E Q_E \\ \bar{\Delta}_{c,s} &= T_s \Delta_{c,s} & \bar{\Delta}_{c,p} &= T_p \Delta_{c,p} & \bar{\Delta}_E &= T_E \Delta_E \end{aligned} \quad (5.37a) \quad (5.37b) \quad (5.37c)$$

Înlocuind valorile din (5.37) în (5.32) se obțin relațiile :

$$Q_s = T_s^T \bar{K}_s T_s \Delta_{c,s} \quad (5.38a) ; \quad Q_p = T_p^T \bar{K}_p T_p \Delta_{c,p} \quad (5.38b)$$

$$Q_E = T_E^T \bar{K}_E T_E \Delta_E \quad (5.38c)$$

Comparând relațiile (5.38) și (5.31) se obțin expresiile matricelor de rigiditate ale macroelementelor și elementelor finite în sistemul general de axe.

$$K_s = T_s^T \bar{K}_s T_s \quad (5.39a) ; \quad K_p = T_p^T \bar{K}_p T_p \quad (5.39b)$$

$$K_E = T_E^T \bar{K}_E T_E \quad (5.39c)$$

Făcîndu-se transformările de axe, vectorul acțiunilor aplicat în nodurile structurii (5.30) se determină cu relația :

$$A = A_n + \sum_1^S T_s^T \bar{F}_{e,s} + \sum_1^E T_E^T \bar{F}_{e,E} \quad (5.40)$$

Înlocuindu-se valorile din relațiile (5.38) în ecuația generală de echilibru (5.29) se obține :

$$A = \sum_1^S T_s^T \bar{K}_s T_s \Delta_{c,s} + \sum_1^P T_p^T \bar{K}_p T_p \Delta_{c,p} + \sum_1^E T_E^T \bar{K}_E T_E \Delta_E \quad (5.41)$$

Acă se ține cont de condiția de continuitate a deplasărilor (5.12), exprimată pentru un nod (I) al structurii prin egalitățile :

$$\Delta_{c,s}^{(I)} = \Delta_{c,p}^{(I)} = \Delta_E^{(I)} = D^{(I)} \quad (5.42)$$

și de relațiile (5.39) sistemul de ecuații (5.41) poate fi scris :

$$A = \left(\sum_1^S T_s^T \bar{K}_s T_s + \sum_1^P T_p^T \bar{K}_p T_p + \sum_1^E T_E^T \bar{K}_E T_E \right) D \quad (5.43a)$$

$$A = \left(\sum_1^S K_s + \sum_1^P K_p + \sum_1^E K_E \right) D \quad (5.43b)$$

ale acestuia : în cod cifra „0” reprezintă o deplasare generalizată posibilă, iar cifra „1” o deplasare generalizată împiedicată. Pentru nodurile cu trei grade de libertate elastică - translațiile după axele X Y Z - vectorul de blocaj (1b) va conține trei cifre. După numerotarea nodurilor structurii, fiecărui nod i se alocă automat cîte trei numere, reprezentînd numerotarea deplasărilor posibile ale structurii, care formează o matrice (fig. 5.7.a). Parcurgînd succesiv toate nodurile în ordinea de numerotare a acestora și la fiecare din ele cele trei grade de libertate, calculatorul va analiza pentru fiecare cifră de cod corespunzătoare prin matricea vectorilor de blocaj (fig. 5.7.b) : dacă aceasta este „0” va fi înlocuită cu o cifră care reprezintă numărul de ordine al deplasării libere; dacă cifra de cod este „1”, acest număr se înlocuiește cu „0” întrucît nu există deplasare pe direcția respectivă. În acest fel se formează matricea legăturilor nodale (fig. 5.7c), prin care calculatorul numerotează deplasările libere ale structurii. Elementele acestei matrice reprezintă numerele de ordine ale ecuațiilor de echilibru după direcțiile deplasărilor generalizate respective.

Pentru fiecare element (macroelement) se formează un vector al conexiunilor care face corespondența între numerotarea nodurilor elementului respectiv și numerotarea nodurilor structurii. Vectorii de conexiune ai tuturor elementelor alcătuiesc matricea conexiunilor (fig. 5.8 a). Fiecărui nod numerotat în matricea conexiunilor i se aplică trei poziții în care sînt trecute automat numerele de ordine ale deplasărilor libere din matricea legăturilor nodale.

Aceste numere de ordine ale deplasărilor nodurilor structurii, pentru fiecare element formează vectorii de localizare ($L_{(S)}$, $L_{(P)}$, $L_{(G)}$) iar vectorii de localizare ai tuturor elementelor alcătuiesc matricea indicilor (fig. 5.8 b). Deci matricea indicilor face legătura între numerele de ordine ale deplasărilor nodurilor elementelor (i,j) și numerele de ordine ale deplasărilor nodurilor structurii (i,J). Cu ajutorul matricei indicilor se poate forma matricea de rigiditate a structurii din matricele de rigiditate ale elementelor, prin depunerea coeficienților de rigiditate $K_{i,j}$ din matricele K_S , K_P , K_G în matricea K , cu relația de aribuire :

$$unde : \quad K_{L(i),L(j)} = \sum K_{L(i),L(j)} \quad (5.48)$$

. i, J sînt numere de ordine ale deplasărilor nodurilor structurii din matricea indicilor ;

. i, j sînt numere de ordine ale deplasărilor elementelor

(macroelemente, elemente finite) din matricea indicilor;

$K_{L(I) L(J)}$ este termen al matricei de rigiditate a structurii;

$K_{L(i) L(j)}$ este termen din matricea de rigiditate a elementului, în care numerele de ordine ale deplasărilor structurii (I, J) din matricea indicilor sînt înlocuite cu numerele de ordine corespunzătoare ale deplasărilor nodurilor elementelor (i, j).

Folosindu-se relația (5.48) în locația de memorie rezervată termenului $K_{I, J}$ al matricei de rigiditate a structurii se face o cumulare a oporturilor de rigiditate ale elementelor ($K_{L(i), L(j)}$).

Forma finală a matricei K se obține după parcurgerea tuturor elementelor (macroelementelor și elementelor finite).

MATRICEA INDICILOR

Fig. 5.8b

L(S)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24																								Nod macroel.
L(P)																									(i, j)
L(E)																									
L(1)	0	0	0	1	2	0	5	6	0	0	4	0	9	10	11	12	13	14	21	22	23	18	19	20	Numar. deplas. nod struct. (I, J)
L(2)	1	2	0	3	0	0	7	8	0	5	6	0	12	13	14	15	16	17	24	25	26	21	22	23	
L(3)	9	10	11	12	13	14	21	22	23	18	19	20	27	28	29	30	31	32	39	40	41	36	37	38	
L(4)	12	13	14	15	16	17	24	25	26	21	22	23	30	31	32	33	34	35	42	43	44	39	40	41	

$L_{(S)}, L_{(P)}, L_{(E)}$ = vectorii de localiz. ai macroelem. și elem. finite

(i, j) = numerotarea grad. de lib. ale macroelem. (element)

(I, J) = numerotarea deplas. nodurilor structurii

De exemplu, termenii K_{11}, K_{12}, K_{13} ai matricei de rigiditate a structurii se determină cu relația (5.48) folosind matricea indicilor (fig. 5.8b).

$$K_{11} = K_{44}^{(1)} + K_{11}^{(2)} ; K_{12,13} = K_{16,17}^{(1)} + K_{13,14}^{(2)} + K_{4,5}^{(3)} + K_{1,2}^{(4)}$$

Determinarea componentelor vectorului încărcărilor exterioare în nodurile structurii, pentru o anumită ipoteză de încărcare, se face tot cu ajutorul matricei indicilor, prin folosirea relației de distribuție :

$$\text{In care: } A_{L(I)} = A_{n(I)} + F_{el(I)} \quad (5.49)$$

• $A_{L(I)}$ este componenta vectorului încărcărilor pe direcția deplasării I a structurii ;

• $A_{n(I)}$ este componenta pe direcția deplasării (I) a încărcării aplicate direct.

• $F_{el(I)}$ componenta vectorului încărcării echivalente din nodurile elementului, în care numărul de ordine al deplasării (I) din matricea indicilor este înlocuit cu numărul de ordine corespunzător al deplasării (i) a elementului.

Ca exemplu componenta pe direcția (12) a vectorului încălzirii exterioare pe structură se obține cu relația (5.49) folosind matricea indicilor astfel :

$$A_{12} = \overset{(d)}{A}_{12} + F_{e,16}^{(1)} + F_{e,13}^{(2)} + F_{e,4}^{(3)} + F_{e,1}^{(4)}$$

În vederea rezolvării sistemului general al ecuațiilor de echilibru (5.47) se elimină deplasările nedeterminate de corp rigid prin fixarea structurii în nodurile de rezanare; urmând rezolvării acestuia, cu una din metodele cunoscute [17, 40], rezultă deplasările libere ale nodurilor ($Z=I$) și reacțiunile în rezanțele structurii (A_v).

5.2.1.5. Determinarea stărilor de efort și deformație.

Deplasările nodurilor caracteristice ale elementelor în sistemul general de axe, se pot determina din deplasările nodurilor structurii, folosind vectorii de localizare $L_{(S)}$, $L_{(P)}$, $L_{(z)}$ cu relația :

$$\Delta_{L(i)} = D_{L(i)} \quad (5.50)$$

unde numărul de ordine al deplasării (I) a structurii, din matricea indicilor, este înlocuit cu numărul de ordine corespunzător deplasării (i) a elementului. Transformarea deplasărilor din sistemul general de axe în sistemul local se face cu relațiile (5.37). Aceste deplasări, care rezultă din calculul de ansamblu al structurii, sînt deplasările în faza a doua de calcul, $\bar{\Delta}_c^{(2)}$. Cu relația (5.9) se determină deplasările nodurilor interioare ale macroelementelor, în faza a doua de calcul.

$$\bar{\Delta}_{i,s}^{(2)} = -S_{ij}^{-1} S_{ic} \bar{\Delta}_{c,s}^{(2)} \quad (5.51a) ; \quad \bar{\Delta}_{i,p}^{(2)} = -P_{ij}^{-1} P_{ic} \bar{\Delta}_{c,p}^{(2)} \quad (5.51b)$$

Deplasările finale ale nodurilor caracteristice și interioare ale macroelementelor vor fi calculate prin însumarea deplasărilor obținute în cele două faze.

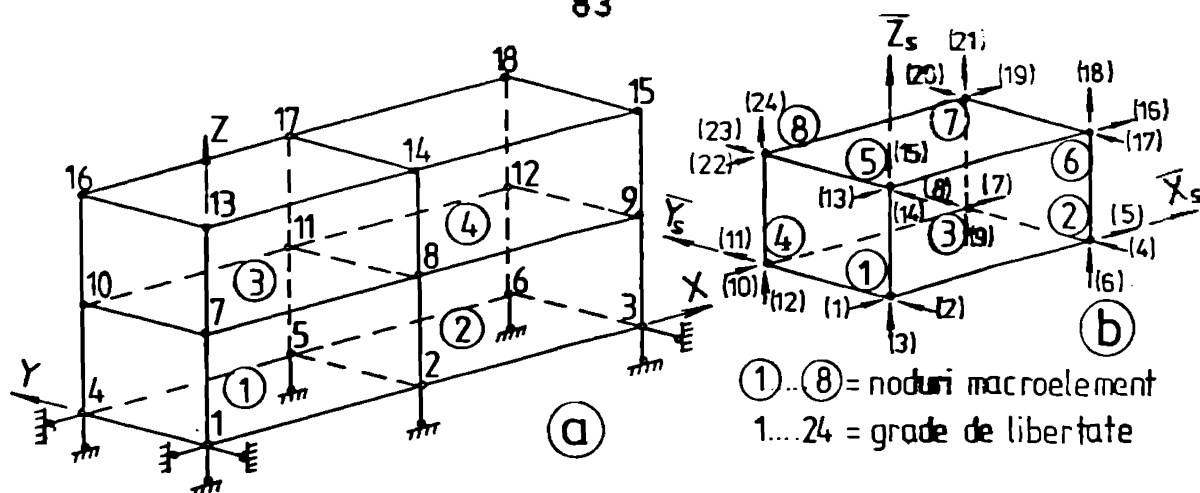
$$\bar{\Delta}_{c,s} = \bar{\Delta}_{c,s}^{(1)} + \bar{\Delta}_{c,s}^{(2)} \quad (5.52a) ; \quad \bar{\Delta}_{c,p} = \bar{\Delta}_{c,p}^{(1)} + \bar{\Delta}_{c,p}^{(2)} \quad (5.53a)$$

$$\bar{\Delta}_{i,s} = \bar{\Delta}_{i,s}^{(1)} + \bar{\Delta}_{i,s}^{(2)} \quad (5.52b) ; \quad \bar{\Delta}_{i,p} = \bar{\Delta}_{i,p}^{(1)} + \bar{\Delta}_{i,p}^{(2)} \quad (5.53b)$$

Pentru elementele finite care intră direct în alcătuirea ansamblului structural, deplasările din faza a doua de calcul sînt și deplasările finale.

Cunoscute fiind deplasările nodurilor caracteristice ale macroelementelor și elementelor finite, rezultate din calculul de ansamblu al structurii, pot fi determinate eforturile de interacțiune și eforturile din elementele de îmbinare cu relațiile (5.32).

În cuprinsul fiecărui macroelement pot fi determinați, vectorii coloană ai deformațiilor specifice ξ , și respectiv ai tensiunilor σ , cu relațiile cunoscute din metoda elementelor finite



1.....18 = noduri structura
① ④ = macroelemente

Fig. 56

Matricea deplas. posb.

Nod. struct.	Num. depls. posb.		
	X	Y	Z
1	1	2	3
2	4	5	6
3	7	8	9
4	10	11	12
5	13	14	15
6	16	17	18
7	19	20	21
8	22	23	24
9	25	26	27
10	28	29	30
11	31	32	33
12	34	35	36
13	37	38	39
14	40	41	42
15	43	44	45
16	46	47	48
17	49	50	51
18	52	53	54

Fig. 57a

Matricea vectorilor (ID)

Nod. struct.	(ID)		
	X	Y	Z
1	1	1	1
2	0	0	1
3	0	1	1
4	1	0	1
5	0	0	1
6	0	0	1
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0

Fig. 57b

Matricea leg. nodale

Nod. struct.	Num. depls. efect.		
	X	Y	Z
1	0	0	0
2	1	2	0
3	3	0	0
4	0	4	0
5	5	6	0
6	7	8	0
7	9	10	11
8	12	13	14
9	15	16	17
10	18	19	20
11	21	22	23
12	24	25	26
12	27	28	29
14	30	31	32
15	33	34	35
16	36	37	38
17	39	40	41
18	42	43	44

Fig. 57c

Matricea conexiunilor

Vect. de conex. ai macroel. (elem)	Nodurile macroelement (element)								Numerotarea nod. macroel. (elem.)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
R (1)	1	2	5	4	7	8	11	10	Numerotarea nodurilor structurii
R (2)	2	3	6	5	8	9	12	11	
R (3)	7	8	11	10	13	14	17	16	
R (4)	8	9	12	11	14	15	18	17	

Fig. 58a

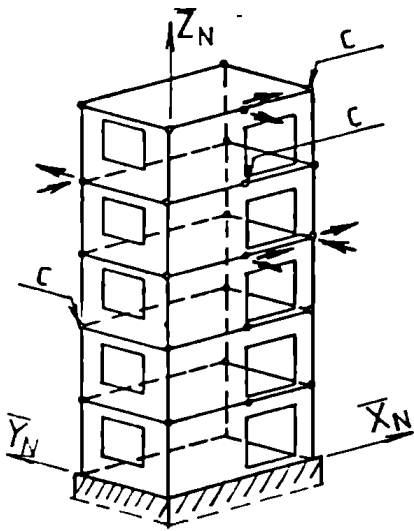


Fig. 5.10

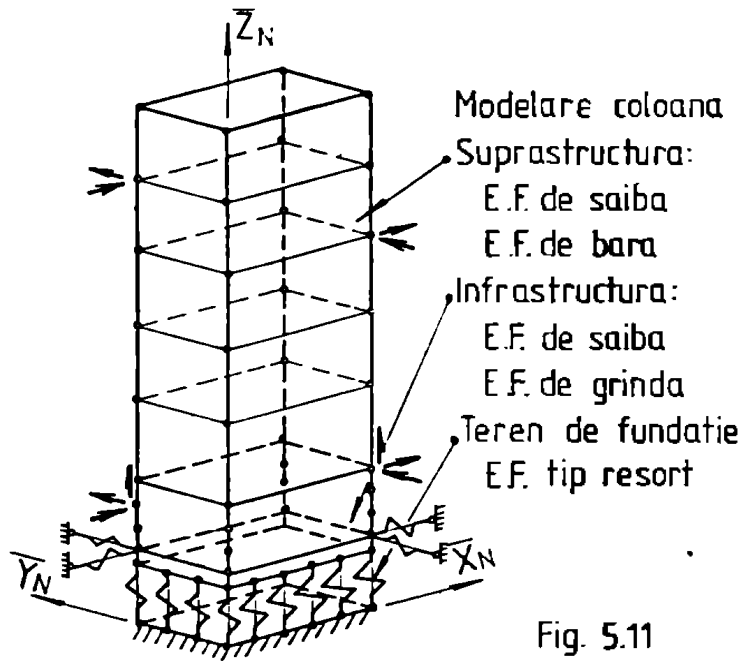


Fig. 5.11

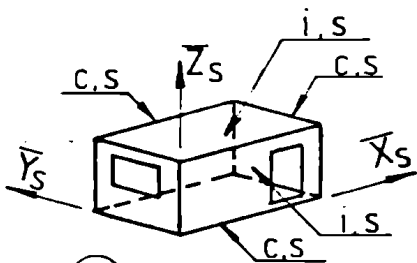


Fig. 5.13

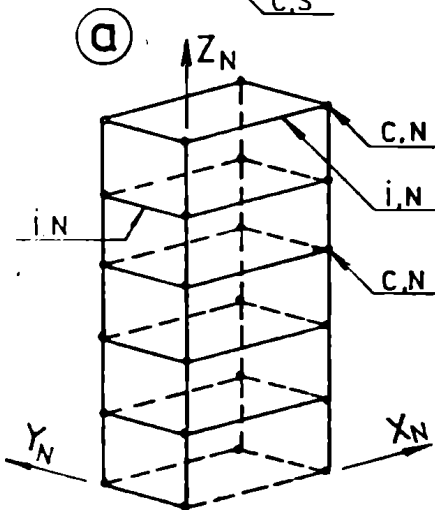


Fig. 5.14

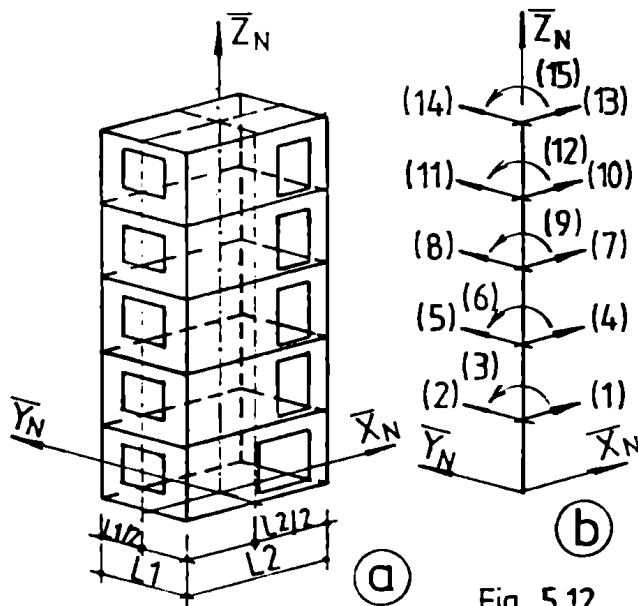


Fig. 5.12

[12, 17, 86].

$$\varepsilon = B \{ \bar{\Delta}_i ; \bar{\Delta}_d \} \quad (5.54) ; \quad \tilde{\sigma} = [E \quad (5.55)$$

in care :

. B este o matrice care depinde de tipurile de elemente finite și funcțiile de modelare a deplasărilor acceptate ;

. C este matricea de elasticitate a materialului ;

Calculul ansamblului structural și al elementelor se face pe ipoteze de încărcare ; fiecărei ipoteze îi corespunde câte o coloană separată în matricea încărcărilor și respectiv a deplasărilor, din sistemul general al ecuațiilor de echilibru al structurii.

5.2.2. Procedeu macroelementelor. Varianta B.

Aste o particularizare a procedurii descrise la 5.2., în vederea aplicării la :

a) structuri alcătuite din coloane de elemente spațiale ;

b) structuri mixte alcătuite din coloane de elemente spațiale și panouri de planșeu ;

c) structuri alcătuite din nuclee, realizate din panouri prefabricate sau din beton armat monolit și planșee prefabricate.

În aceste structuri coloanele, respectiv nucleele, sînt considerate elemente componente și sînt tratate în calcul ca macroelemente.

Varianta B se aplică cu prioritate în cazul rezonării liniare a elementelor în cadrul coloanei, respectiv a nucleului ; se poate aplica înșă și în cazul alcătuirii acestora din elemente rezonate concentrate.

Analiza structurii necesită parcurgerea etapelor descrise la Varianta A, cu particularizările prevăzute în continuare.

5.2.2.1. Schematizarea structurii.

În fig. 5.9. este exemplificată schema unei structuri mixte, alcătuită din coloane de elemente spațiale și panouri de planșeu. Coloanele și panourile sînt conectate cu legături de tip placuța metalică amplasate în colțuri, la nivelul planșeelor de tavan.

Legăturile au capacitatea de a prelua forțe axiale și forțe tăietoare în planurile orizontale ale planșeelor de tavan. Panourile și lăbinările sînt modelate la fel ca în varianta A. Coloanele (..) sînt tratate ca macroelemente rezonate liniar la bază, cu cîte patru noduri caracteristice pe nivel, fiecare nod avînd două grade

de libertate elastică (translațiile după axele \bar{X}_N, \bar{Y}_N) (fig. 5.9b).

Funcție de alcătuirea constructivă și poziția legăturilor în structură, coloanele pot avea noduri caracteristice suplimentare (fig. 5.10). Iubinările între elementele suprapuse în cadrul coloanei (nucleului) pot fi modelate cu bare echivalente (mentenți și diagonale), modelare prin care poate fi luată în considerare rigiditatea reală a acestora. (A se vedea paragr. 5.4.2.)

Infrastructura construcției poate fi tratată separat ca o substructură încărcată cu reacțiunile din nodurile de rezanare ale coloanelor, luate cu sens schimbat. În cazul alcătuirii infrastructurii din prefabricate spațiale monolitizate, iubinările verticale pot fi modelate cu bare echivalente (fig. 5.56a); o schemă a coloanei, tratată ca macroelement, pe care se analizează și interacțiunea suprastructură–infrastructură–teren, este prezentată în fig. 5.11. Modelarea terenului de fundație poate fi făcută cu elemente finite în stare plană de eforturi sau cu resorturi, în cazul adoptării ipotezei Winkler. Nodurile caracteristice aparținând infrastructurii au trei grade de libertate.

Înca iubinările orientate între coloane și între coloane și planșee, asigură comportarea planșeei ca șabla rigidă, calculul structurii la forțe orizontale poate fi simplificat prin reducerea coloanelor la bare echivalente tip consolă având câte trei grade de libertate elastică la nivelul fiecărui planșeu: translațiile după axele \bar{X}_N, \bar{Y}_N și rotația $\bar{\theta}_z$ în planul \bar{X}_N, \bar{Y}_N (fig. 5.12) [23], [173].

5.2.2.2. Calculul porcelementelor ca structuri separate.

În vederea analizei, în această etapă, coloanele sînt divizate în elementele spațiale componente.

Calculul elementelor prefabricate (elemente spațiale, panouri) în ipoteza de montaj se face pe sistemele de bază geometric nedeterminate rezultate din tehnologia de execuție (fig. 5.3.).

În calculul la încărcări verticale (permanente și utile) au fost adoptate, scheme din fig. 5.4.c pentru panouri și cea din fig. 5.13 pentru elementele spațiale. Sistemele de bază sînt discretizate în elemente finite. Pentru panouri și elemente spațiale sînt folosite elemente finite de șabla-dali. Exemple de discretizare sînt date în fig. 5.17.

Sistemul de bază geometric nedeterminat al coloanei se obține prin blocarea deplasărilor pe direcțiile gradelor de libertate elastică ale nodurilor caracteristice. În vederea analizei coloanele sînt modelate cu elemente finite de șabla și de bară articulată.

tă (fig. 5.45), întrucât în ansamblul structurii, (scelăuită din coloane), interesează capacitățile de rezistență și rigiditate ale pereților și planșeelor în planul lor.

În cadrul acestei etape se efectuează următoarele operații de calcul (în sistemele de referință locale).

a) Determinarea vectorilor deplasărilor nodurilor interioare ale panourilor în faza I de analiză ($\bar{\Delta}_{ip}^{(1)}$), cu relația (5.2.2b)

b) Determinarea vectorilor încărcărilor echivalente pe liniile de rezemare ale panourilor (\bar{F}_{ep}), cu relația (5.23). Acești vectori, care conțin forțe și momente încovoietoare, se aplică pe elementele spațiale pe care rezemă panourile.

c) Determinarea vectorilor încărcărilor echivalente pe liniile de rezemare ale elementelor spațiale, cu relația (5.24). Acești vectori se aplică drept încărcări pe coloanele de elemente spațiale.

d) În cadrul acestei operații sînt determinate direct, prin folosirea unui program de calcul cu elemente finite (de ex. programul PALAS [173]), deplasările ($\bar{\Delta}_S^{(1)}$) și stările de efort-deformație ($\sigma_S^{(1)}$, $\epsilon_S^{(1)}$) ale elementelor spațiale în faza (I) de analiză.

e) Determinarea vectorilor deplasărilor nodurilor interioare ale coloanelor în faza (I) de analiză, ($\bar{\Delta}_{iN}^{(1)}$), cu relația (5.4a) pe sistemul de bază al acestora.

f) Determinarea vectorilor încărcărilor echivalente în nodurile caracteristice ale coloanelor (\bar{F}_{eN}) cu relația (5.5). Acești vectori se aplică drept încărcări pe structura asamblată din coloane și panouri.

5.2.2.3. Determinarea matricelor de rigiditate ale macroelementelor.

Matricile de rigiditate ale panourilor, tratate ca macroelemente, au fost determinate la varianta A. Matricile de rigiditate ale coloanelor (referitoare la nodurile caracteristice) rezultă prin partiționarea matricelor de rigiditate ale structurii acestora (N) după deplasările nodurilor interioare (i) și caracteristice (c), cu relația (5.11).

$$\bar{K}_N = N_{cc} - N_{ci} N_{ii}^{-1} N_{ic} \quad (5.56)$$

Matricea \bar{K}_N este pătrată, simetrică și singulară, are numărul de linii și coloane egal cu numărul gradelor de libertate elastică ale coloanei tratate ca macroelement (o coloană cu 5 niveluri de tipul din fig. 5.9b are 40 de grade de libertate elastică).

Determinarea termenilor matricii de rigiditate si coloanei poate fi făcută, ca și la varianta 1, prin aplicarea succesivă de deplasări unitare pe sistemul de bază după direcțiile gradelor de libertate, valorile acestora fiind chiar reacțiunile din blocaje.

Altă cale de determinare a matricii \bar{K}_N , aplicată în cadrul programului PALOS [173], constă în inversarea matricii de flexibilitate, rezultată prin aplicarea succesivă de forțe unitare după direcțiile gradelor de libertate ale coloanei, fixată în nodurile de rezemare.

5.2.2.4. Formarea sistemului general al ecuațiilor de echilibru al structurii.

În formarea sistemului general al ecuațiilor de echilibru se respectă prevederile de la 5.2.1.4. Dacă ansamblul structural este alcătuit din N macroelemente de tip coloană, P macroelemente de tip pauză și E elemente finite, ecuația generală de echilibru, exprimată în sistemul general de referință (XYZ) (5.47) este

$$\text{în care :} \quad A = K D \quad (5.57)$$

A este vectorul încărcărilor aplicat pe întreaga structură în nodurile acestuia, asamblat din vectorul încărcărilor direct aplicate A_n și vectorii încărcărilor echivalente pe coloana F_{eN} și pe elementele finite F_{eE} , conform relației :

$$A = A_n + \sum_1^N F_{eN} + \sum_1^E F_{eE} \quad (5.58)$$

cu ajutorul matricii indicilor (fig.5.8b) și prin folosirea relației (5.49).

K este matricea de rigiditate a structurii asamblată din matricile macroelementelor (K_N și K_P) și elementelor finite (K_E), conform relației (5.44).

$$K = \sum_1^N K_N + \sum_1^P K_P + \sum_1^E K_E \quad (5.59)$$

cu ajutorul matricii indicilor și prin folosirea relației de scribire (5.4d).

D este vectorul necunoscut al deplasărilor nodurilor structurii.

Înainte de asamblare, vectorii încărcărilor și matricile elementelor sînt transformați din sistemele locale de referință în sistemul general, cu relațiile (5.36) și (5.39). Prin rezolvarea sistemului general de ecuații rezultă deplasările libere ale nodurilor ($Z = D^D$) și reacțiunile în rezemele structurii (A_r).

5.2.2.5. Determinarea stărilor de eforturi și deformații

În vectorul deplasărilor nodurilor structurii sînt selecționați vectorii deplasărilor nodurilor caracteristice ale macroelementelor (și elementelor finite care intră direct în alcătuirea structurii), în faza a doua de analiză ($\bar{\Delta}_C^{(2)}$) folosindu-se matricea indicilor și relația de atribuire (5.50). Prin efectuarea transformărilor cu relațiile (5.37) se obțin deplasările nodurilor caracteristice în sistemele locale de referință $\bar{\Delta}_{C,P}^{(2)}$, $\bar{\Delta}_{C,N}^{(2)}$ și $\bar{\Delta}_E^{(2)}$. Determinarea deplasărilor nodurilor interioare, în faza a doua de analiză, pentru panouri se face cu relația (5.51 b) iar pentru coloane cu relația

$$\bar{\Delta}_{i,N}^{(2)} = -N_{ij}^1 N_{ic} \bar{\Delta}_{c,N}^{(2)} \quad (5.60)$$

Deplasările finale ale nodurilor caracteristice și interioare ale panourilor se determină cu relațiile (5.53) iar deformațiile specifice și eforturile unitare cu relațiile (5.54) și (5.55). Deplasările finale ale nodurilor caracteristice și interioare ale coloanelor se calculează cu relațiile :

$$\bar{\Delta}_{c,N} = \bar{\Delta}_{c,N}^{(1)} + \bar{\Delta}_{c,N}^{(2)} \quad (5.61a); \quad \bar{\Delta}_{i,N} = \bar{\Delta}_{i,N}^{(1)} + \bar{\Delta}_{i,N}^{(2)} \quad (5.61b)$$

Determinarea deformațiilor specifice și a eforturilor unitare în cuprinsul coloanelor ($\tilde{E}_N, \tilde{\sigma}_N$) se face cu relațiile (5.54) și (5.55).

Stările finale de eforturi și deformații ale elementelor spațiale se obțin prin însumarea eforturilor unitare, respectiv deformațiilor specifice, rezultate în faza (1) de analiză pe elementele spațiale ($\tilde{\sigma}_S^{(1)}, \tilde{E}_S^{(1)}$), cu eforturile unitare, respectiv deformațiile specifice finale rezultate din calculul coloanelor ($\tilde{\sigma}_S^{(N)}, \tilde{E}_S^{(N)}$).

$$\tilde{\sigma}_S = \tilde{\sigma}_S^{(1)} + \tilde{\sigma}_S^{(N)} \quad (5.62a); \quad \tilde{E}_S = \tilde{E}_S^{(1)} + \tilde{E}_S^{(N)} \quad (5.62b)$$

Procedeu macroelementelor, varianta B a fost folosit la elaborarea, în cadrul I.C.I.A., de către ing. Lupa A., în colaborare cu autorul acestei lucrări și cu asistență tehnică a ing. D. Căpățînd și met. D. Coocă de la I.C.T., a programului PALAS (Program pentru analiza liniară a structurilor din Elemente Spațiale) [52, 173]. Primele variante ale programului au fost specializate pentru structuri din elemente spațiale [23, 51], iar ultima variantă [173] are un domeniu de utilizare extins la analize structurilor etajate plane sau spațiale, formate din bare de cadru spațial, plăci plane înscocite și diafragme acționate static și/sau seismic.

5.2.3. Procedura macroelementelor. Variante C.

Conform cu varianta B, elementele spațiale au fost discretizate în elemente finite de șabă-dală iar coloanele, în elemente finite de șabă și de bază articulată; acest mod de discretizare conduce la folosirea judicioasă a memoriei calculatoarelor și facilitează modelarea comportării îmbinărilor, dar necesită discretizarea separată a elementelor spațiale și a coloanelor.

Dacă se renunța la aceste avantaje, principalul, analiza unei structuri alcătuite din coloane de elemente spațiale și panouri (Fig. 5.9), se face în trei faze. În prima fază elementele spațiale și panourile sînt considerate ca structuri separate discretizate în elemente finite, în faza a doua elementele spațiale, tratate ca macroelemente, sînt asamblate în coloane, iar în faza a treia coloanele și panourile, tratate ca macroelemente, sînt asamblate în structură generală.

Faza 1: Analiza panourilor și a elementelor spațiale ca structuri separate.

Ipoteza de montaj și ipoteza de încărcări permanente (care se aplică pe elemente înainte efectuării îmbinărilor în structură), se tratează pe sistemele de bază prezentate în fig. 5.3, 5.13 și conform celor stabilite la pct. 5.2.2.2. operațiile a, b, c, d. pentru aceste ipoteze se determină direct, vectorul deplasărilor nodurilor ($\Delta^{(e)}$), încărcările echivalente pe liniile de rezanță ($P_e^{(*)}$), și stările de efort-deformație ($\sigma^{(e)}$, $\epsilon^{(e)}$) ale elementelor prefabricate.

În această fază elementele prefabricate (panouri și elemente spațiale) sînt discretizate în elemente finite de șabă-dală.

Sistemul de bază, geometric nedeterminat al panourilor tratate ca macroelemente, este prezentat în fig. 5.5.c.

Sistemul de bază al elementelor spațiale, tratate ca macroelemente ale coloanei, se stabilește ținînd cont de conexiunile care se efectuează în lungul muchiilor orizontale ale elementelor suprapuse. Întrucît conexiunile influențează numai starea plană de eforturi a elementelor spațiale, sistemul de bază se obține prin blocarea, pe muchiile orizontale, a deplasărilor aferente acestei stări (translațiile după axele X, Y, Z), (fig. 5.14 a). Elementele spațiale sînt discretizate, pe sistemul de bază, în elemente finite de șabă-dală. Dacă matricile de rigiditate ale acestora (S), asamblate din matricile elementelor finite, sînt rearanjate și partiționate după direcțiile deplasărilor libere (l) și blocați (z)

ale nodurilor, pot fi determinate, pe sistemul de bază :

- Încărcurile echivalente după direcțiile blocate ca relația (5.24)

$$F_{e,s} = F_{n,s} - S_{r,l} S_{ll}^{-1} F_{l,s} \quad (5.63a)$$

- Matricile de rigiditate ale elementelor spațiale ca macroelemente (K_S), cu relația (5.11).

$$K_S = S_{rr} - S_{rl} S_{ll}^{-1} S_{lr} \quad (5.63b)$$

- Vectorii deplasărilor libere, în prima fază de analiză, ($\Delta_{l,s}^{(1)}$) cu relația (5.22a), și anulându-se deplasările pe direcțiile blocate.

$$\Delta_{l,s}^{(1)} = S_{ll}^{-1} F_{l,s} \quad (5.63c) ; \quad \Delta_{r,s}^{(1)} = 0$$

În aceste deplasări se selectează vectorii deplasărilor nodurilor interioare și vectorii deplasărilor nodurilor caracteristice în prima fază de analiză. $\Delta_{i,s}^{(1)} ; \Delta_{c,s}^{(1)}$

faza 2 : asamblarea coloanelor din elemente spațiale tratate ca macroelemente.

În această fază coloanele se consideră structuri independente; sistemul de bază, geometric nedeterminat, se stabilește prin blocarea translațiilor după axele X_N, Y_N, Z_N , ale nodurilor de conexiune (c,N) din structura generală (fig. 5.14b); nodurile de pe liniile de conexiune a elementelor spațiale în coloană (mușchile orientate ale elementelor spațiale) sînt notate cu i,N (interioare, pentru coloana i).

Pentru fiecare coloană, tratată ca structură independentă, se efectuează următoarele operații de calcul :

a) Determinarea încărcurilor pe coloană cu relația (5.15) și respectînd principiile de la pct. 5.2.1.4.

$$F_N = F_{n,N} + \sum F_{e,s}^{(e)} + \sum F_{e,s} \quad (5.63d)$$

b) Determinarea matricii de rigiditate a coloanei prin asamblarea matricilor macroelementelor componente după principiile stabilite la pct. 5.2.1.4.

$$N = \sum K_S \quad (5.63e)$$

c) Rezolvarea sistemului ecuațiilor de echilibru al coloanei

$$N \Delta_{i,N}^{(2)} = F_N \quad (5.63f)$$

și determinarea deplasărilor necunoscute ale nodurilor interioare ($\Delta_{i,N}^{(2)}$).

Deplasările $\Delta_{i,N}^{(2)} = N^{-1} F_N$ și $\Delta_{c,N}^{(2)} = 0$, alcătuiesc vectorul deplasărilor nodurilor caracteristice ale elementului spațial în faza (2) de analiză ($\Delta_{c,s}^{(2)}$).

Cu relația (5.51) se determină deplasările libere în fază (2) ale nodurilor elementelor spațiale

$$\Delta_{i,s}^{(2)} = -S_{ii}^{-1} S_{ir} \Delta_{c,s}^{(2)} \quad (5.63g)$$

din care se selectează vectorul deplasărilor nodurilor interioare ale acestora în fază (2) ($\Delta_{i,s}^{(2)}$).

d) Determinarea matricii de rigiditate a coloanei, ca macroelement al structurii generale, prin partiționarea matricii de rigiditate a acestuia ca structură independentă (N) după direcțiile nodurilor interioare (i,N) și caracteristice (c,N) cu relația (5.11)

$$K_N = N_{cc} - N_{ci} N_{ii}^{-1} N_{ic} \quad (5.63h)$$

e) Determinarea vectorului încărcărilor echivalente din nodurile caracteristice ale coloanei ca macroelement, cu relația (5.5.)

$$F_{e,N} = F_{n,N} - N_{ci} N_{ii}^{-1} F_{i,N} \quad (5.63i)$$

Faza 3 - asamblarea structurii generale din coloane și panouri tratate ca macroelemente.

În această fază de calcul se desfășoară conform celor stabilite la pt. 2.1.2.4.

În rezolvarea sistemului general al ecuațiilor de echilibru (5.57) rezultă deplasările nodurilor de conexiune $\Delta_{c,N}^{(3)}$. Cu relația (5.50) se determină deplasările nodurilor interioare ale coloanelor în fază (3) de analiză ($\Delta_{i,N}^{(3)}$).

$$\Delta_{i,N}^{(3)} = -N_{ii}^{-1} N_{ic} \Delta_{c,N}^{(3)} \quad (5.63j)$$

Vectorii $\Delta_{c,N}^{(3)}$ și $\Delta_{i,N}^{(3)}$ alcătuiesc vectorul $\Delta_{c,s}^{(3)}$ și cu relația (5.51) se calculează vectorul deplasărilor libere ale elementului spațial în fază (3) ($\Delta_{i,s}^{(3)}$).

$$\Delta_{i,s}^{(3)} = -S_{ii}^{-1} S_{ir} \Delta_{c,s}^{(3)} \quad (5.63k)$$

din care se selectează vectorii deplasărilor nodurilor interioare, respectiv caracteristice $\Delta_{i,s}^{(3)}$; $\Delta_{c,s}^{(3)}$

vectorul deplasărilor totale, ale nodurilor elementelor spațiale, din calculul pe structură rezultă prin însumarea vectorilor deplasare aferenți celor trei faze :

$$\Delta_{i,s} = \Delta_{i,s}^{(1)} + \Delta_{i,s}^{(2)} + \Delta_{i,s}^{(3)} ; \quad \Delta_{c,s} = \Delta_{c,s}^{(1)} + \Delta_{c,s}^{(2)} + \Delta_{c,s}^{(3)} \quad (5.63l)$$

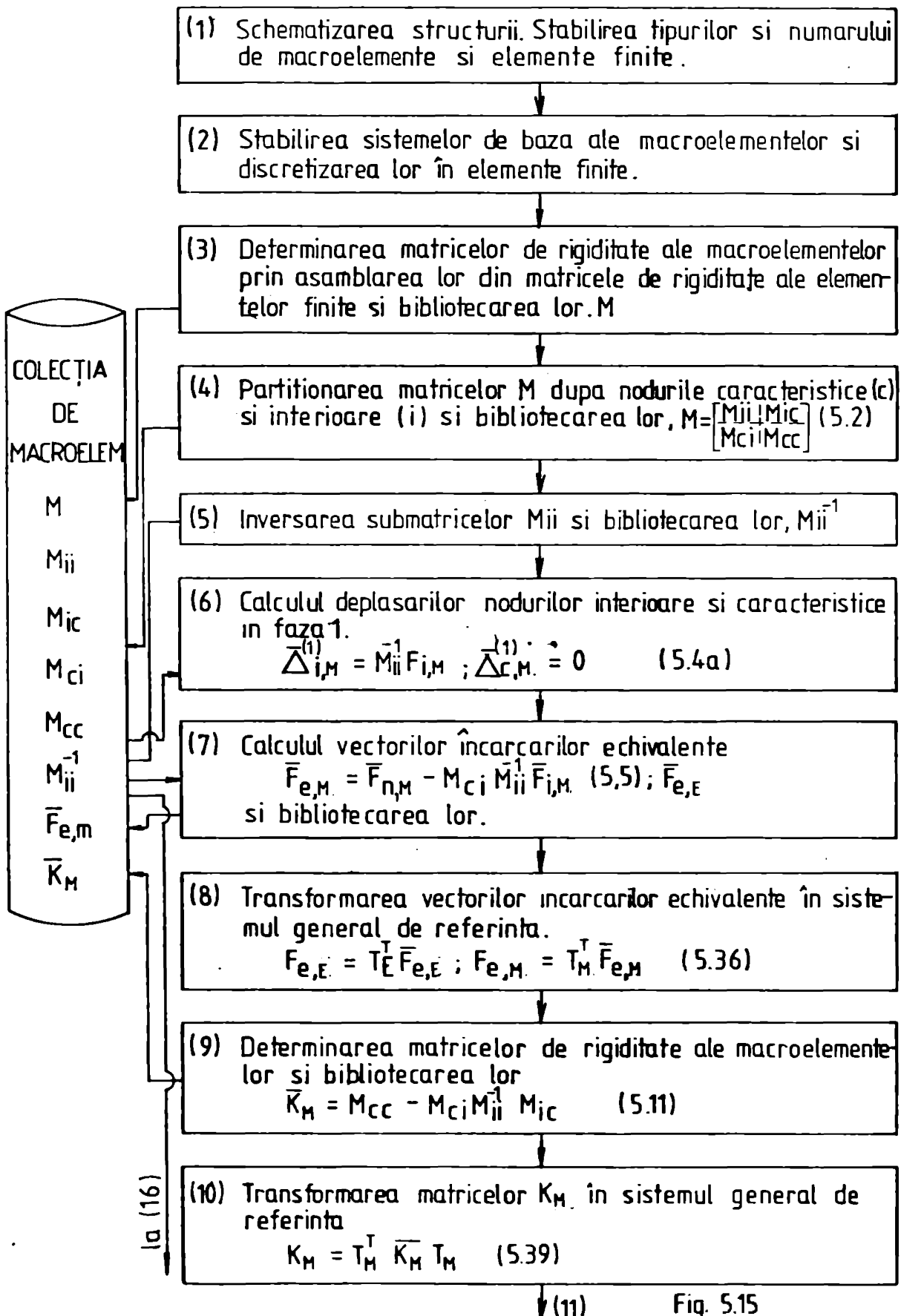
Pentru panouri există numai fazele 1 și 3.

Cunoscându-se deplasările totale ale nodurilor, cu relațiile (5.54) și (5.55) pot fi determinați vectorii coloană ai deformațiilor specifice (E), respectiv ai tensiunilor (σ) aferenți calculului pe structură.

$$\sigma_f = \sigma^{(e)} + \sigma ; \quad E_f = E^{(e)} + E \quad (5.63m)$$

Stările finale de eforturi și deformații ale elementelor prefabricate încorporate în structură se obțin prin însumarea eforturilor, respectiv deformațiilor, rezultate din calculul pe elemente în fază (1) ($\sigma^{(e)}$, $E^{(e)}$) cu cele rezultate din calculul pe structură (σ , E) (5.63 m)

SCHEMA BLOC A OPERATIILOR IN ANALIZA UNEI STRUCTURI
CU PROCEDEUL MACROELEMENTELOR



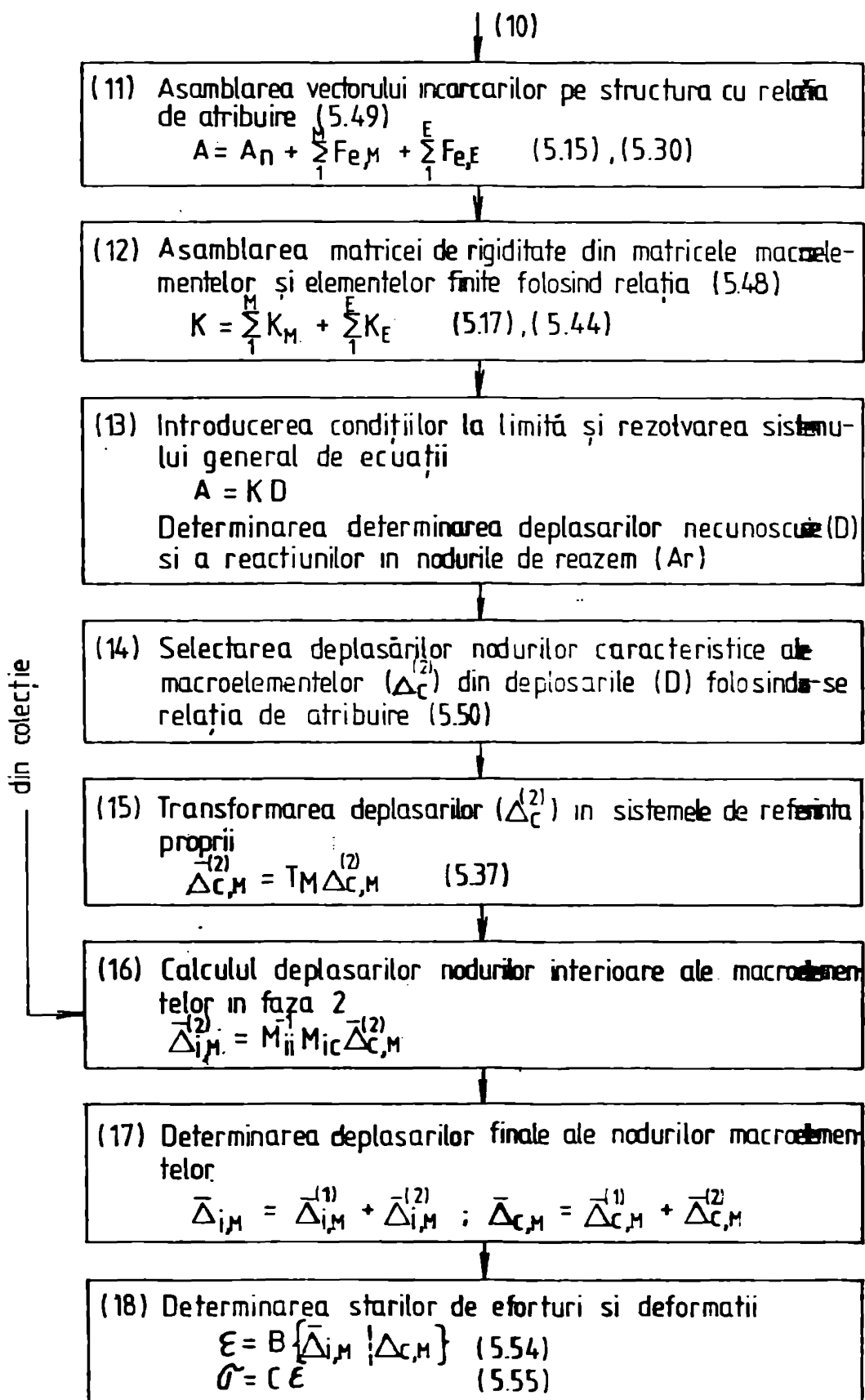


Fig. 5.15 (continuare)

stările finale de eforturi și deformații pot fi determinate prin program, pentru diferite ipoteze de încărcare, separat pe elemente și pe structură și/sau însumate.

5.3. EXPERIMENTARI NUMERICE ASUPRA ELEMENTELOR SPAȚIALE

În vederea cunoașterii diferitelor stări de eforturi și deformații, au fost efectuate experimentări numerice pe trei serii de elemente spațiale. În cadrul seriilor 1 și 2 a fost analizată influența următoarelor parametri :

- prezența, poziția și mărimea golurilor pentru uși și ferestre,
- modul de rezemare a elementelor în structură : liniară și concentrată pe colțuri,
- sistemul constructiv de alcătuire a elementelor spațiale rezultat din tehnologia de fabricație.,
- imperfecțiunile de fabricație și montaj. .

În cadrul seriei 3 au fost analizate elementele spațiale neconvenționale, sub formă de cuvă. A fost adoptat un model de calcul prin care s-a luat în considerare interacțiunea structurii cu terenul de fundație.

Experimentările au fost efectuate cu metodele elementelor finite, în stadiul elastic, folosindu-se programele de calcul SAP 4 [171] și PALAS [173].

5.3.1. Experimentări numerice pe elemente spațiale, serie 1

Elementele spațiale sînt de tip panou culcat (5 fețe turnate monolit și panoul de fațadă articulată pe contur). Seria 1 cuprinde următoarele elemente : elementele spațiale E1L...E4L rezeamate liniar (L), elementele spațiale E1C...E4C rezeamate concentrat pe colțuri (C), elementele spațiale E3M și E4M suspendate în dispozitivul de montaj (M) și placiile de planșeu P 1 (articulată pe contur) și P 2 (încadrată pe trei laturi și articulată pe a patra), (fig. 5.1b) Poziția și mărimea golurilor sînt prezentate în figură : elementele n 1 sînt fără goluri, iar elementele n 4 au goluri mari. În perioade de manipulare, elementele cu goluri mari sînt prevăzute cu tiranți demontabili care susțin planșeul de parcosecție. Toate elementele sînt prevăzute din beton armat E₂₅c (bc.20), grosimea planșeelor este 9 cm iar a pereților 7 cm. Experimentările au fost efectuate în următoarele ipoteze de încărcare :

- Ipoteza 1 : încărcarea verticală $q_1 = 100 \text{ daN/m}^2$ aplicată pe planșeul de tavan (E1L).

- Ipoteza 2 : încărcarea verticală $q_2 = 100 \text{ daN/m}^2$ aplicată pe planșeul de pardoseală (E1L).

- Ipoteza 3 : încărcări din greutate proprie (elementele sînt finite) și sarcina utilă pe planșeul de pardoseală în gruparea fundamentală (încărcarea echivalentă pe planșee $q_1 = 250 \text{ daN/m}^2$, $q_2 = 560 \text{ daN/m}^2$ (E1L...E4L, E1C...E4C, P1, P2)).

- Ipoteza 4 : încărcări normate din greutatea proprie a elementelor finite, multiplicată cu coeficientul cinetic $C_d = 1.25$ (3.3.1, 3.4.1).

S-au utilizat elemente finite de șebă - dală; schema de discretizare este prezentată în fig. 5.17.

Intrucît planșeele de pardoseală și de tavan ale elementelor E4L au rigidități diferite, interacțiunea între ele, la suprapunere în coloană, a fost analizată cu modelul din fig. 5.18. Stratul de mortar de poză de 2 cm, a fost modelat cu elemente finite sub formă de pandul. Forțele de interacțiune rezultate (fig. 5.18b) au fost aplicate ca forțe suplimentare pe elementul E4L.

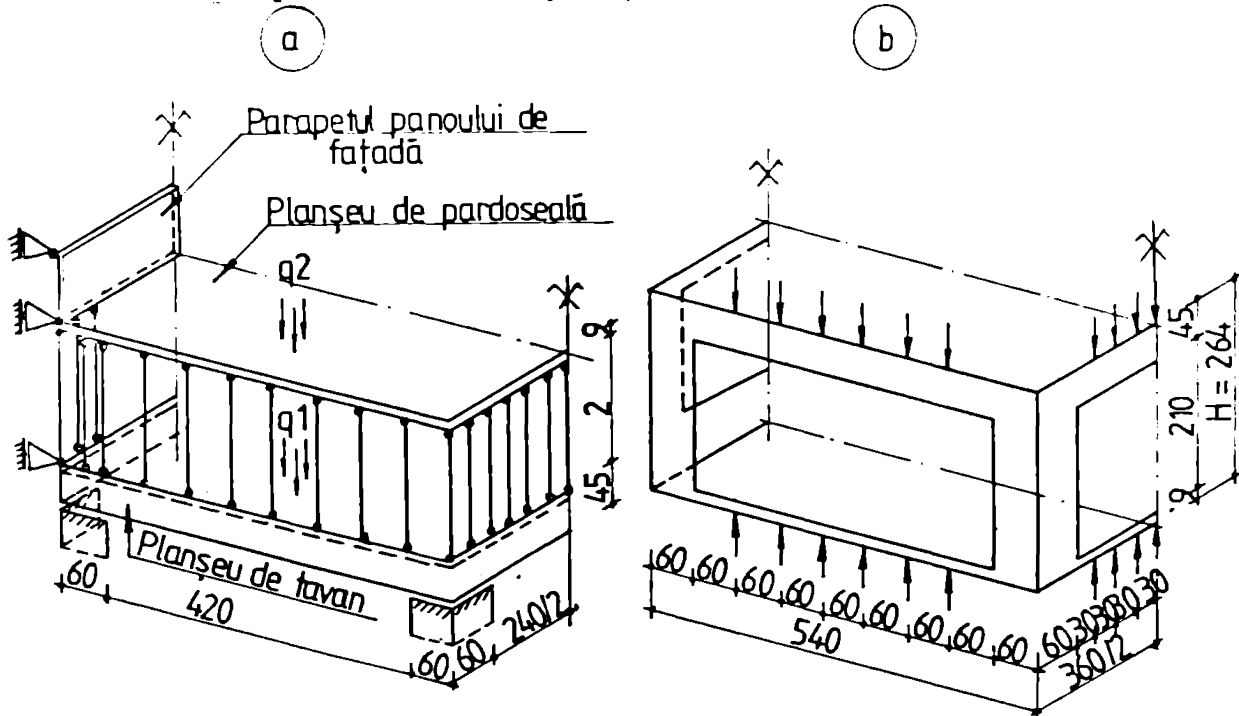


Fig. 5.18

(a) - Modelul de calcul a forțelor de interacțiune între planșeele suprapuse în coloană ale elementelor E4L

(b) - Forțele de interacțiune aplicate pe elementul E4L

Rezultatele experimentărilor sînt prezentate în figurile 5.20 la 5.28 și tabelele 5.1 la 5.8.

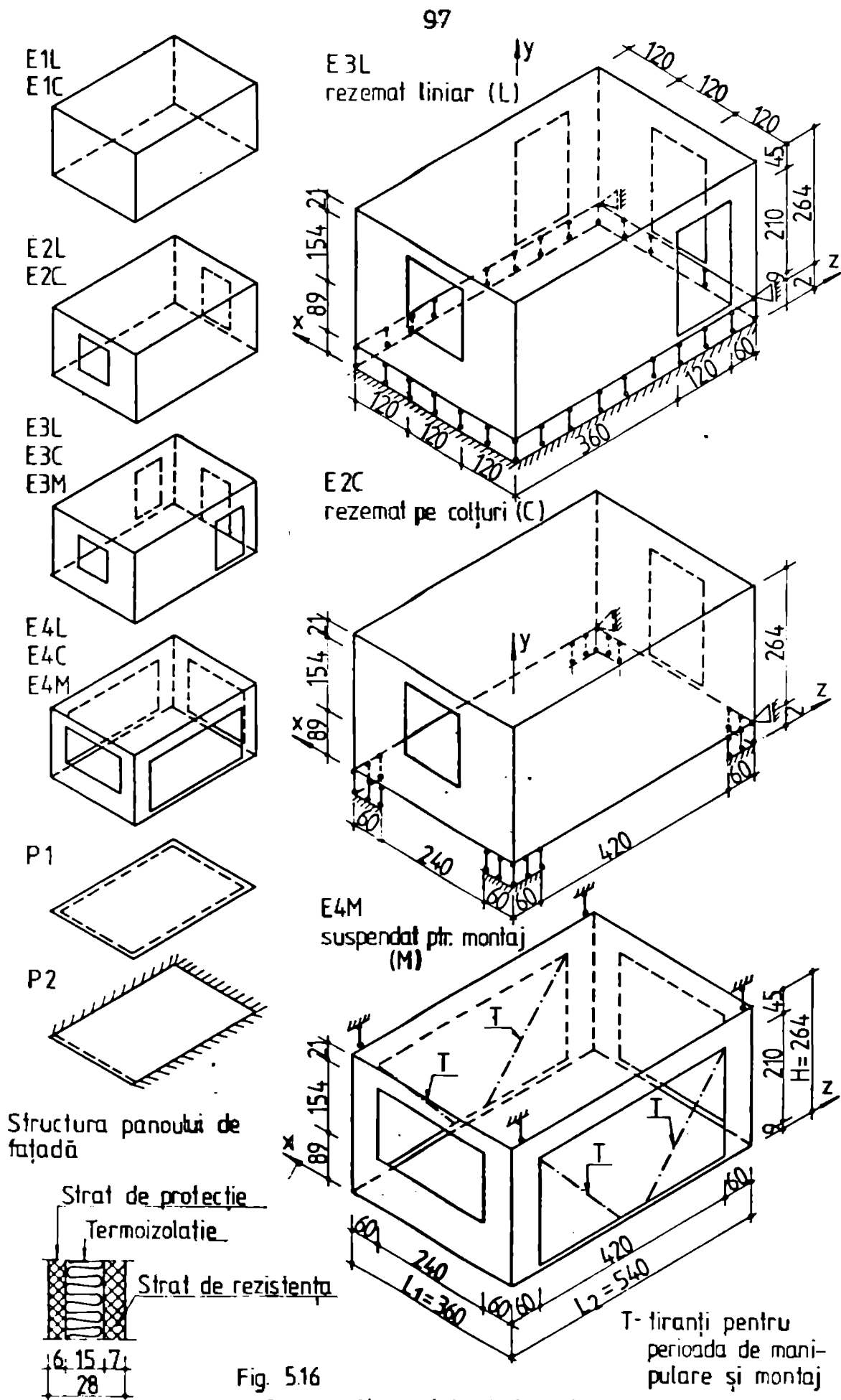


Fig. 516
SERIA 1 - Nomenclatorul elementelor

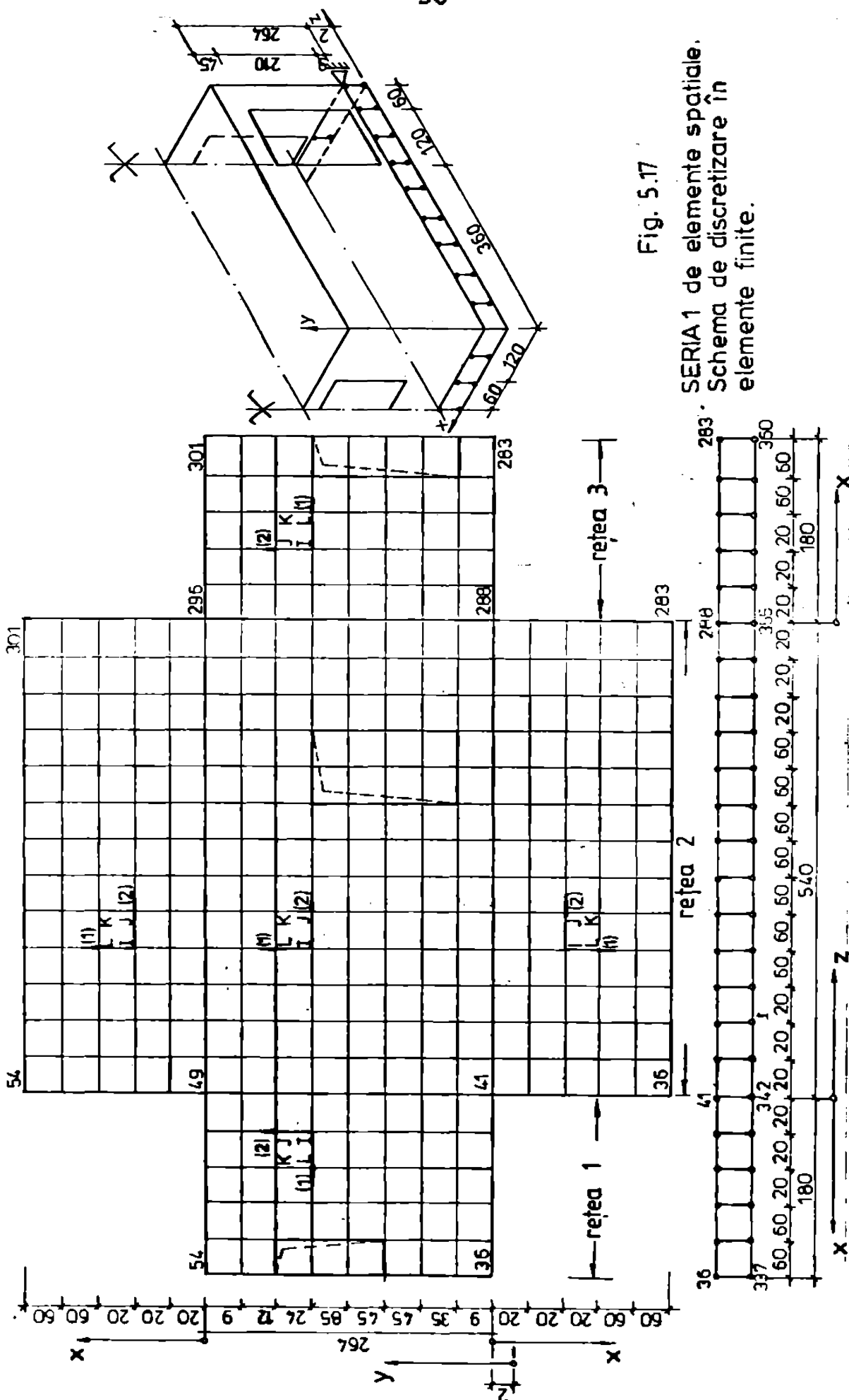


Fig. 5.17
 SERIA 1 de elemente spațiale.
 Schema de discretizare în
 elemente finite.

Analizându-se distribuția reacțiunilor pe liniile de rezemare ale elementelor $3L$, $3L$ (fig. 5.19) se pot face următoarele constatări :

- Încărcarea uniform repartizată pe planșeul de tavan conduce la o distribuție cu creșterea compresiunilor pe colțuri (fig. 5.19 a).

- Încărcarea uniform repartizată pe planșeul de pardoseală conduce la o distribuție cu concentrări de întinderi pe colțuri (fig. 5.19 b).

- Încărcarea din greutatea proprie a elementului și din sarcina utilă aplicată pe planșeul de pardoseală (ipoteza 3), conduce la o distribuție neuniformă cu descărcarea colțurilor (fig. 5.19 c, d). Distribuția este explicabilă prin tendința planșeelor de a ridica colțurile (fig. 5.20).

- Prezența golurilor de ușă în perețele longitudinale ($3L$) conduce la o scădere a coeficientului de uniformitate a distribuției de la 0.90 la 0.73.

Analizându-se variația deplasărilor și distribuția momentelor încovoietoare, în diferite secțiuni caracteristice (fig. 5.21... 5.26 și tabelele 5.1...5.6), se pot face următoarele constatări :

- Creșterea numărului și mărimii golurilor în pereții elementelor spațiale conduce la creșterea săgeților și momentelor încovoietoare în pereții și planșeale acestora.

- Încăstrările elastice în lungul anchiilor micșorează săgețile și momentele încovoietoare ale planșeelor elementelor spațiale; acestea se înscriu între valorile pentru plăcile etalon P1 (articulată pe centur) și P2 (încăstrată pe trei laturi și articulată pe a patra). Fac excepție elementele cu goluri mari $3L$ și $3C$, ale căror planșee au deplasări și momente încovoietoare mai mari decât ale plăcii P1.

- Deplasările și momentele încovoietoare ale planșeelor de pardoseală sînt mai mari în cazul rezemării pe colțuri față de rezemarea liniară.

- Săgețile și momentele încovoietoare, în ipoteza de montaj, sînt mai mici decât în ipoteza 3, de exploatare, (planșeale de pardoseală ale elementelor cu goluri mari sînt susținute cu tiranți în perioade de execuție).

Din analiza eforturilor unitare în starea plană (fig. 5.27; 5.28) se pot face următoarele constatări :

- Eforturile unitare de membrană au valori mici, neglijabile, în cazul elementelor curante rezemate liniar ($3L$ la $3L$).

- Valorile acestora devin semnificative la elementele rezecate pe colțuri (fig.5.27 a), la elementele cu goluri mari (fig. 5.27 b,c) și la teste elementele spațiale în ipoteza de montaj (fig. 5.27 d; 5.28).

- În secțiunea transversală curentă a elementelor rezecate pe colțuri, distribuția eforturilor unitare σ_x indică compresiuni în planșoul de tavan și întinderi în planșoul de parocoesă. Elementul cu pereți plini lucrează ca o grindă omogenă (fig.5.27 a). În distribuția eforturilor unitare σ_x în planșoul de tavan al elementului cu goluri (fig. 5.27 b), se remarcă conlucrarea plăcii cu rigle buciandrugului în testă secțiunea transversală. Determinarea unei lățimi active de placă (b_p) din condiția de egalitate a efortului total de compresiune din placă reală cu efortul echivalent rezultat din efortul unitar σ_x repartizat uniform în secțiunea activă (b_p, b_p) și avind valoarea maximă de la îmbinarea plăcii cu rigle ($\sigma_x = 2,396 \text{ daN/cm}^2$), conduce, în cazul betonului, la o valoare $b_p = 69,9 \text{ cm}$. După STAS 1007/0-76 rezultă o valoare $b_p = 42 \text{ cm}$, iar după Instrucțiunile P.85-82 [163] o valoare $b_p = 70 \text{ cm}$.

- În ipoteza de montaj, eforturile unitare dezechilibrate se concentrează în zonele unghiurilor și în jurul golurilor (fig.5.28).

Referitor la elementele spațiale cu goluri mari în pereți se fac următoarele constatări :

- În cazul rezecării liniare, din interacțiunea planșeelor cu rigidități diferite, care se suprapun, rezultă descărcarea planșeelor de parocoesă și supraîncărcarea planșeelor de tavan (mai rigide), (fig.5.19);

- Planșeele elementelor spațiale cu goluri mari au momente-încovoietoare și deplasări mai mari, (respectiv rigidități mai mici), decât placa etalon articulată pe contur (P1), (fig. 5.21; 5.24);

- Eforturile unitare aferente stării plane, au valori semnificative în cazul elementelor cu goluri mari (fig.5.27 b,c), care indică solicitarea cu momente încovoietoare mari a buciandrugilor și montanților; pentru preluarea acestora este necesară o alcătuire conformă cu stările de efort-deformație, prin care să se asigure secțiunii corespunzătoare de beton și armătură [29].

5.3.2. Experimentări numerice pe elemente spațiale Serie 2

În cadrul seriei 2 au fost analizate comparativ șapte sisteme constructive de elemente spațiale, rezultate din tehnologiile de fabricație : la sistemele A ... F prezentate în paragraful 2.1

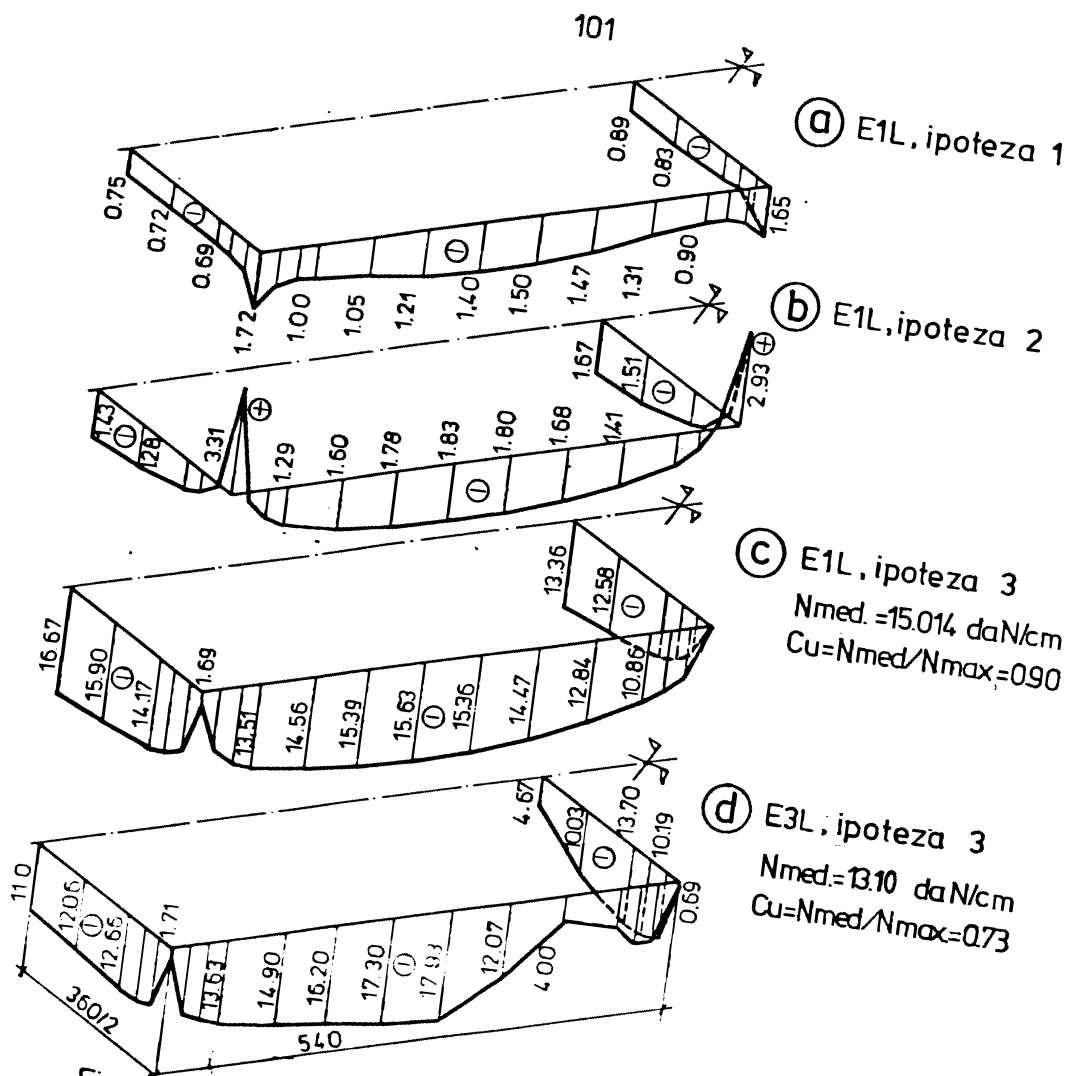


Fig.5.19 @. ④ Reactiuni pe suprafata de rezemare [da N/cm]

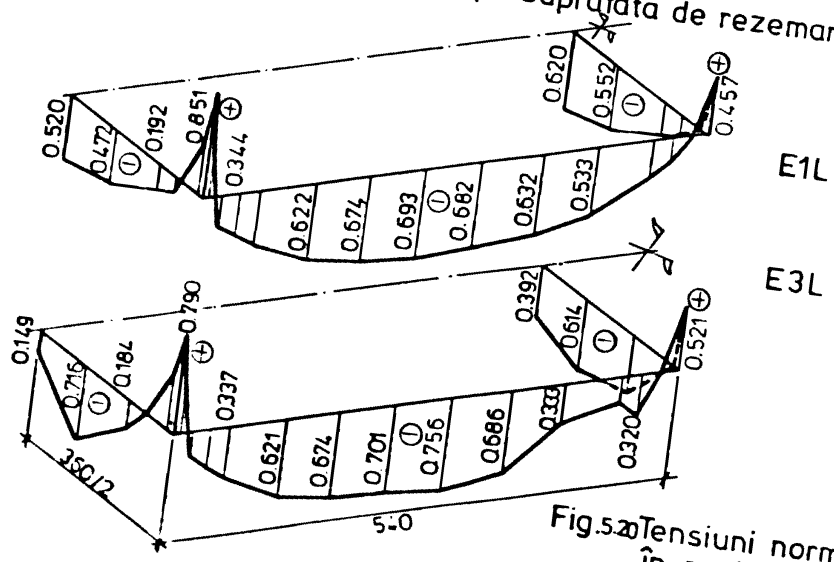
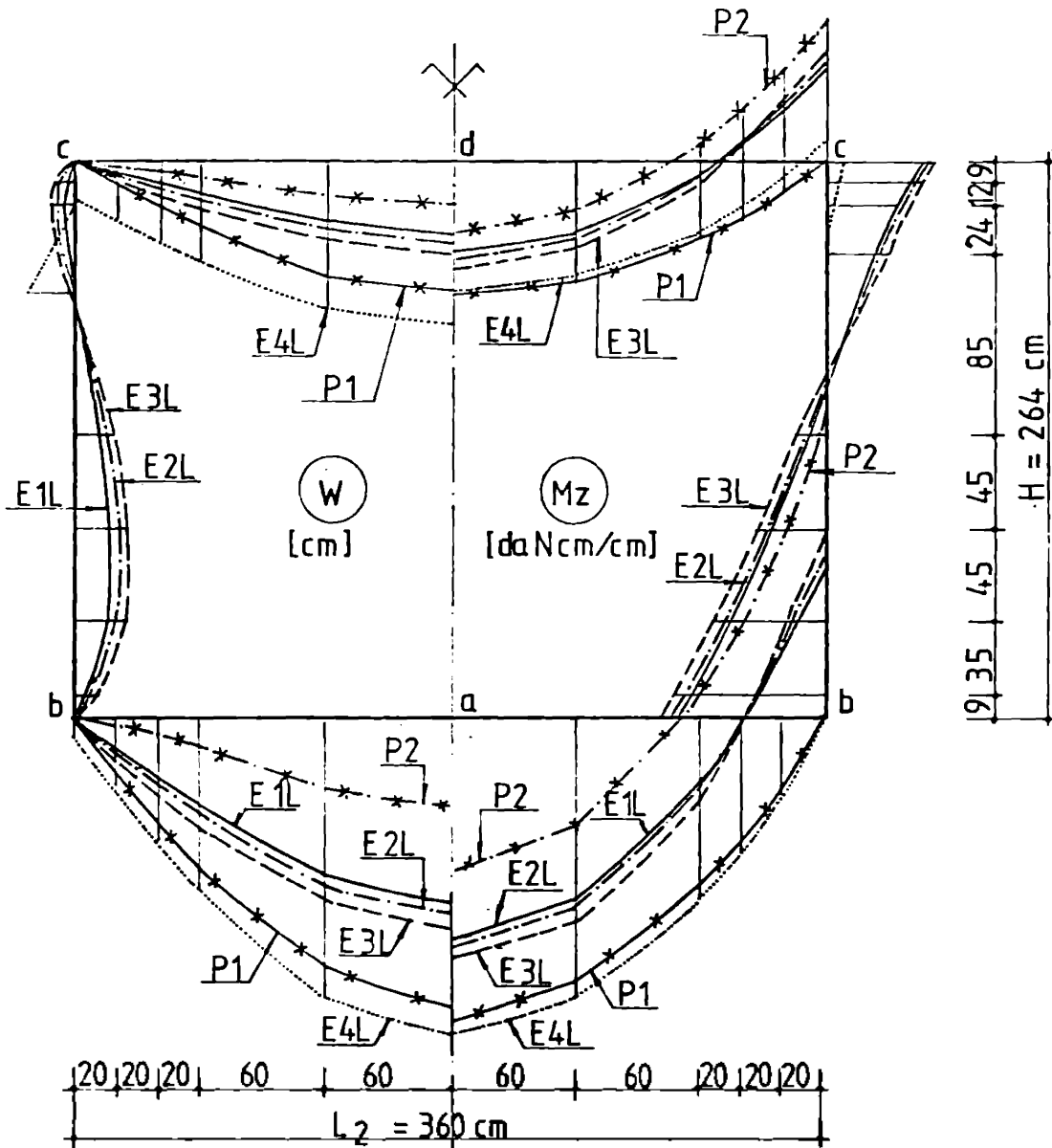


Fig.5.20 Tensiuni normale σ_y [daN/cm²] în secțiunea $y=257$ cm, ipoteza 3

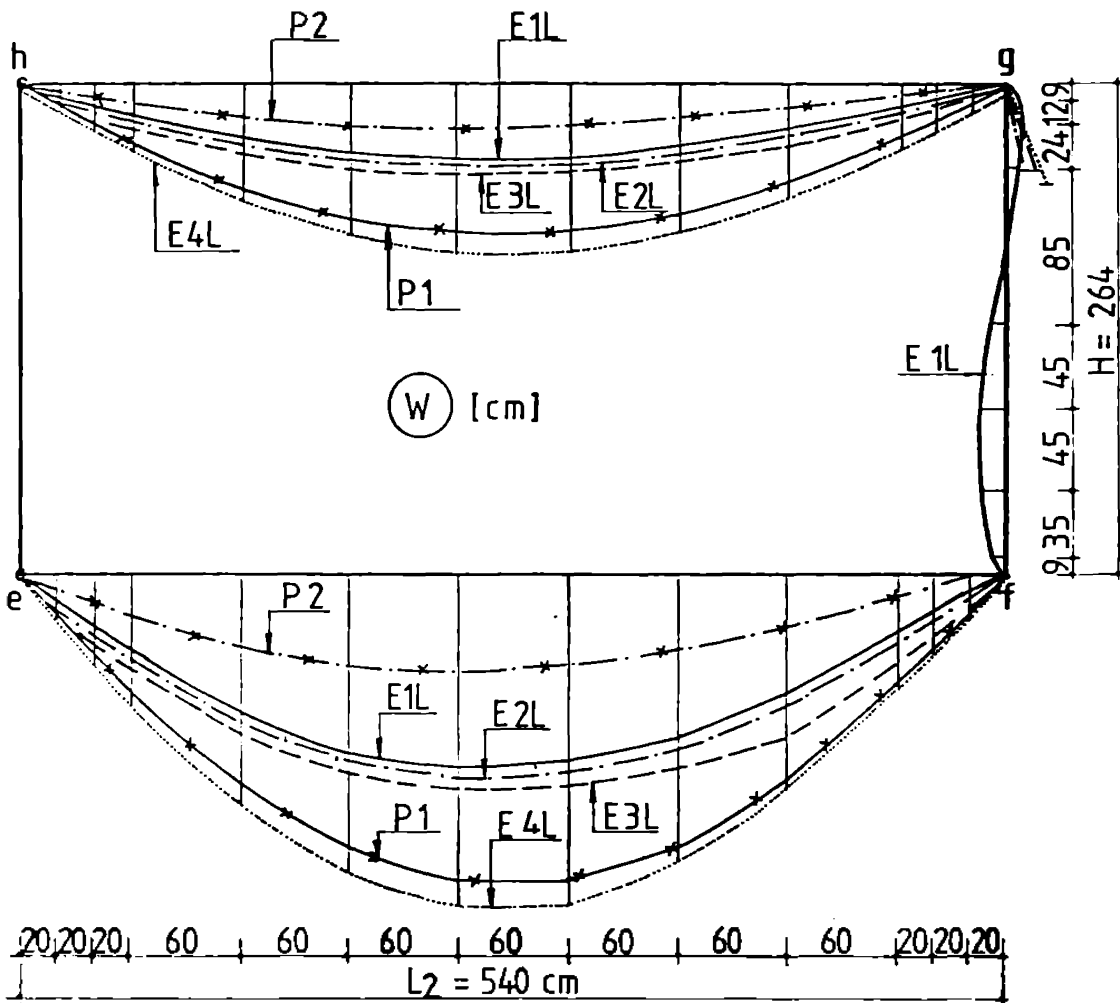
Fig. 5.21 - Săgeți (W) și momente încov. (Mz) în sect. transvers. z=240cm



Tabel 5.1

Elem.	Momente încov. [da Ncm/cm]				Săgeți, cm		
	Ma	Mb	Mc	Md	Wa	Wd	Wmax.b.c
E1L	422	285	178	173	0.2673	0.1020	0.0564
E2L	428	288	180	175	0.2713	0.1029	0.0575
E3L	444	301	185	177	0.2846	0.1054	0.0610
E4L	597	14	26	252	0.4524	0.2282	0.0642
P1	565	0	0	256	0.4143	0.1880	0
P2	291	572	260	132	0.1288	0.0584	0
E1C	422	285	177	173	0.2726	0.1055	0.0564
E2C	428	287	179	174	0.2768	0.1061	0.0575
E3C	443	310	194	176	0.2996	0.1184	0.0609
E4C	519	0	23	231	0.4999	0.1804	0.0606
E3M	301	230	187	206	0.2090	0.1447	0.0329
E4M	375	0	30	257	0.3010	0.2008	0.0680

Fig. 5.22 Săgeți W în sect. long. x = 180 cm.



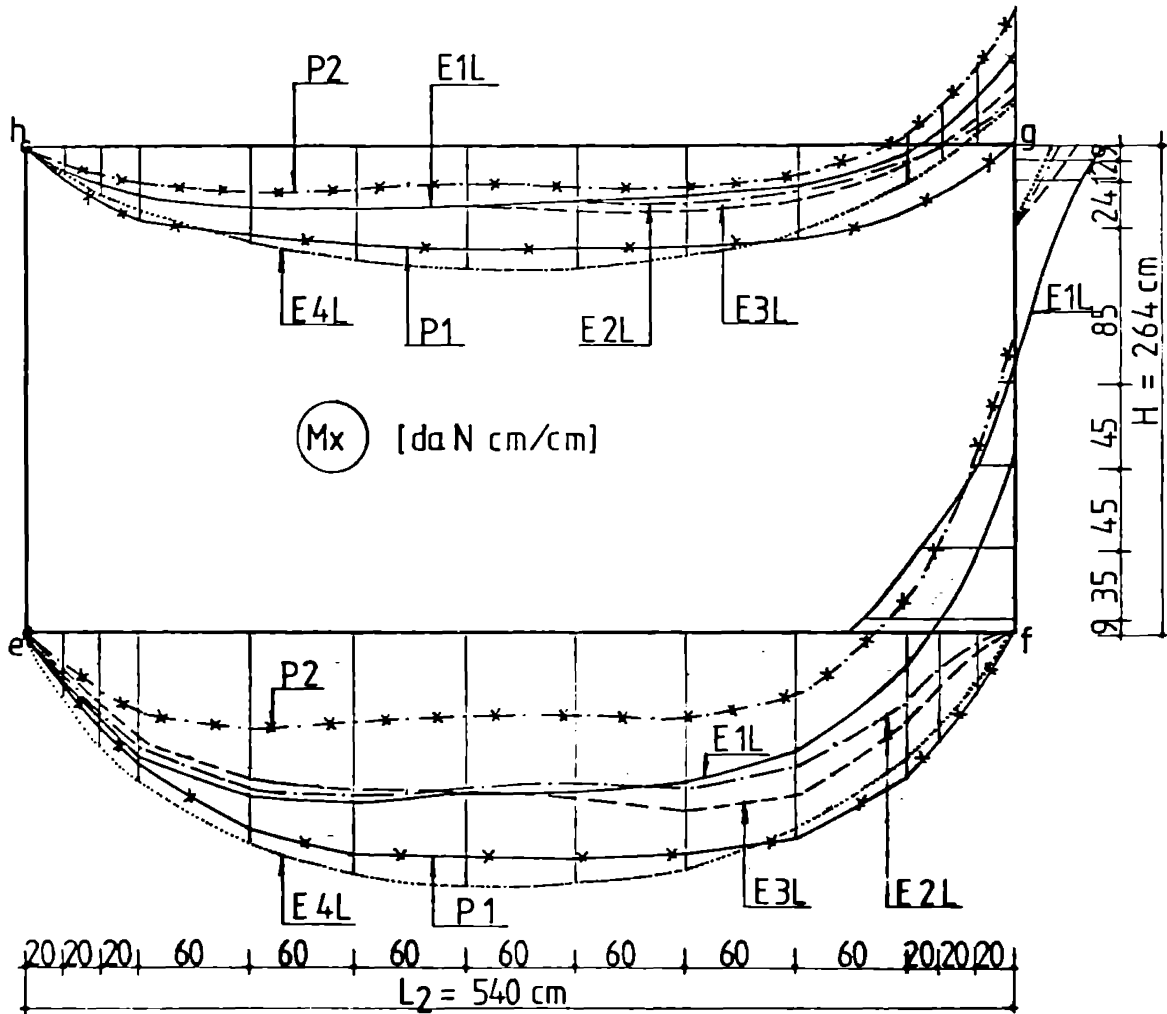
Tabel 5.2

Element		E1L	E2L	E3L	E4L	P1	P2
Săgeata max. cm	We,f	0,2673	0,2716	0,2856	0,4524	0,4143	0,1288
	Wg,h	0,1020	0,1029	0,1054	0,2282	0,1880	0,0584
	Wf,g	0,0296	0,0176	0,0181	0,0450	—	—

Tabel 5.3

Element		E1C	E2C	E3C	E4C	E3M	E4M
Săgeata max. cm	We,f	0,2726	0,2733	0,3016	0,4986	0,2090	0,3010
	Wg,h	0,1055	0,1061	0,1184	0,1806	0,1447	0,2008
	Wf,g	0,0299	0,0169	0,0339	0,0384	0,0359	0,0387

Fig. 5.23 Momente încov. M_x în sect. long. $x = 180$ cm



Tabel 54

Element		E1L	E2L	E3L	E4L	P1	P2
M _x , max. daNcm/cm	M _{g-h}	84	83	86	168	139	56
	M _g	118	67	74	26	0	188
	M _f	231	26	28	0	0	414
	M _{e-f}	215	214	230	245	307	118

Tabel 55

Element		E1C	E2C	E3C	E4C	E3M	E4M
M _x , max. daNcm/cm	M _{g-h}	85	84	94	136	110	150
	M _g	118	69	82	44	83	49
	M _f	231	39	45	0	52	0
	M _{e-f}	217	216	215	378	165	204

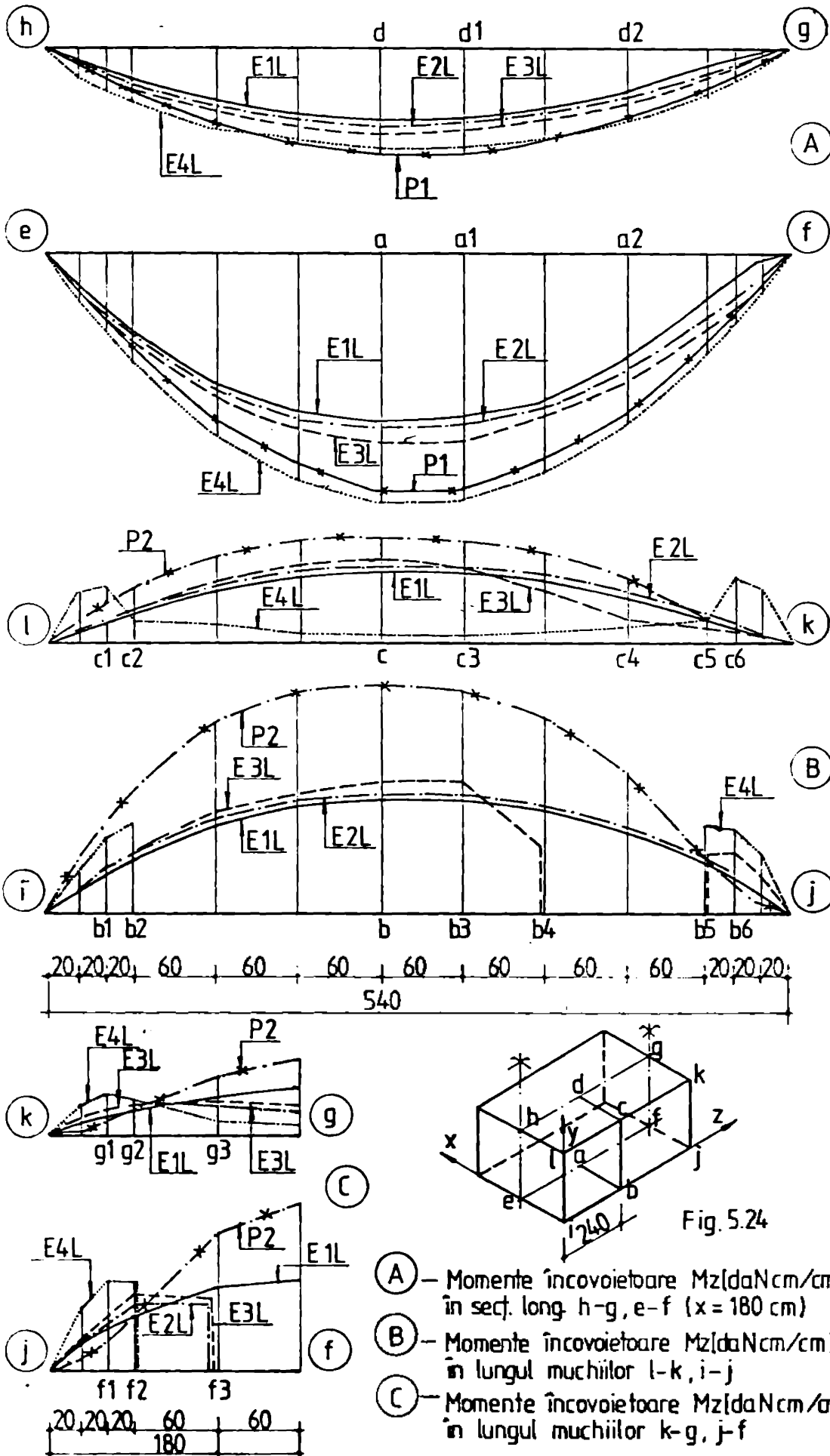


Fig. 5.24

Mz [da Ncm/cm] in sect. long. x=180 cm, h-g, e-f, Tabel 56

	ELEMENT										
	E1L	E2L	E3L	E4L	P1	E1C	E2C	E3C	E4C	E3M	E4M
d	173	174	177	252	256	173	174	176	231	206	257
d1	169	172	174	249	256	169	171	171	228	202	253
d2	108	115	115	180	176	108	114	112	158	135	176
a	422	428	444	597	565	422	428	443	519	301	375
a1	413	423	440	594	565	414	423	437	518	296	375
a2	268	292	301	422	397	269	295	303	402	204	277

Mz[da Ncm/cm] in lungul muchilor l-k, i-j Tabel 57

	ELEMENT										
	E1L	E2L	E3L	E4L	P2	E1C	E2C	E3C	E4C	E3M	E4M
c1	53	59	56	149	99	56	56	56	68	194	124
c2	77	80	79	51	138	76	76	64	66	33	55
c	178	179	186	22	260	176	178	184	17	162	19
c3	174	176	180	21	251	173	175	171	17	162	18
c4	110	114	62	45	157	108	115	60	44	111	47
c5	60	62	37	51	64	52	59	42	59	31	42
c6	43	44	36	115	32	38	45	55	72	150	141
b1	95	96	97	188	218	107	107	117	185	71	155
b2	133	134	136	227	304	139	139	150	327	82	138
b	285	287	301	0	572	283	286	300	0	221	0
b3	280	285	313	0	553	278	283	311	0	230	0
b4	251	260	160	0	484	250	259	122	0	86	0
b5	121	129	143	207	140	126	135	188	356	144	145
b6	93	98	147	216	70	104	109	149	215	62	161

Mx[da Ncm/cm] in lungul muchilor k-g, j-f Tabel 58

	ELEMENT										
	E1L	E2L	E3L	E4L	P2	E1C	E2C	E3C	E4C	E3M	E4M
q1	34	11	20	95	32	41	45	15	72	59	71
q2	49	71	67	68	64	54	77	97	67	100	73
q3	97	72	82	35	153	99	72	93	56	94	61
g	118	67	74	36	188	118	67	82	42	83	46
f1	99	118	129	222	70	107	125	150	119	86	162
f2	130	167	183	214	140	134	174	207	165	145	147
f3	203	168	179	0	336	199	170	190	0	146	0
f	231	0	0	0	414	231	0	0	0	0	0

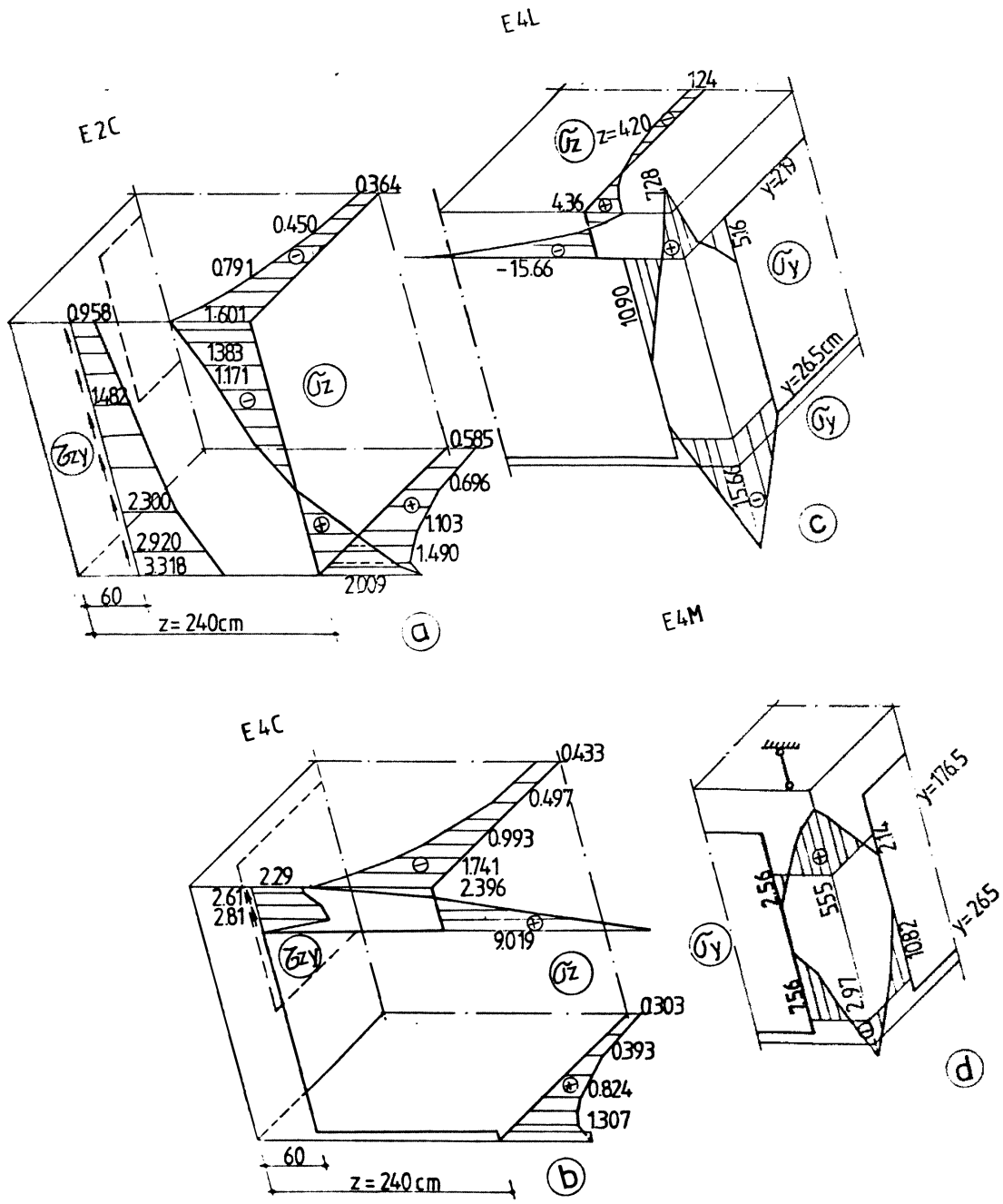


Fig. 5.27

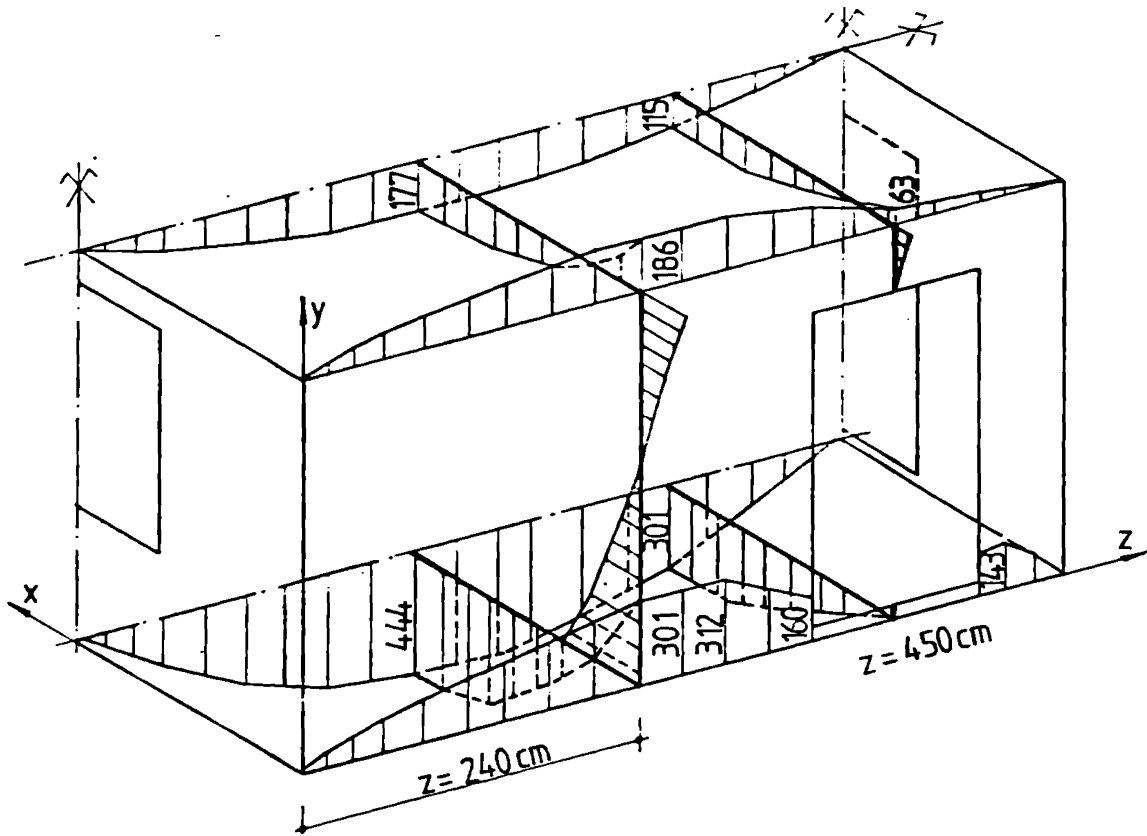


Fig. 5.25 E3L Momente încovoietoare M_z în secțiuni caracteristice [da N cm/cm]

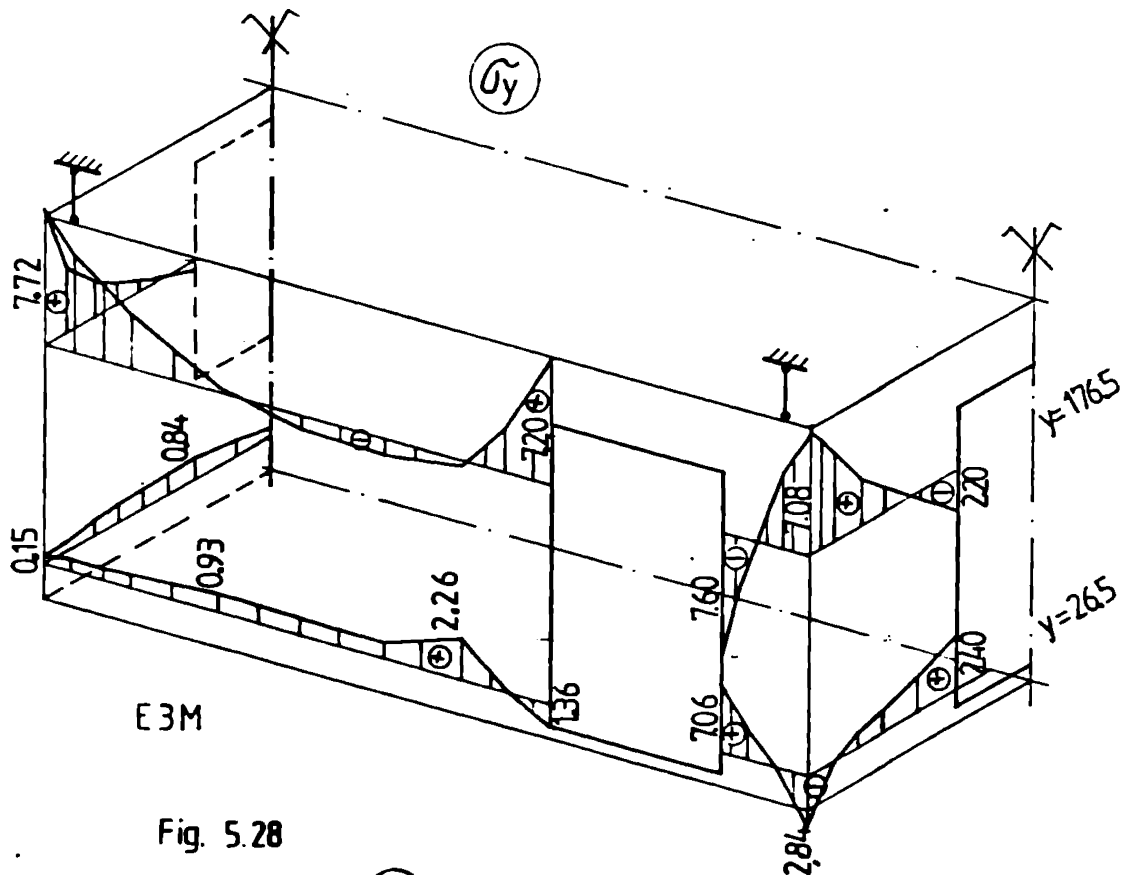


Fig. 5.28 E3M Tensiuni σ_y [da N/cm²] în pereți

(fig. 2.2.), s-a adăugat sistemul G - luat ca etalon - în care elementul spațial este alcătuit din șase fețe turnate monolit. Sistemul G nu s-a realizat la nivel industrial întrucât nu poate fi extras cofrajul interior după turnarea betonului.

Fiecare sistem este reprezentat printr-un element spațial care are particularitățile de alcătuire structurală ale sistemului respectiv. Pentru efectuarea comparațiilor s-a stabilit caracteristicile geometrice și de încărcare comune tuturor elementelor, prezentate în fig. 5.29.

Elementele spațiale au pereți portanți și sînt rezemate liniar. În cadrul analizei au fost utilizate elemente finite dreptunghiulare încovoiate (cu trei grade de libertate pe nod). Schema de discretizare este prezentată în fig. 5.30. Studiul urmărește să evidențieze capacitățile de rezistență și rigiditate ale elementelor spațiale funcție de sistemul de alcătuire structurală.

Rezultatele studiului, reprezentînd distribuțiile momentelor încovoietoare și ale deplasărilor în secțiuni caracteristice, sînt sintetizate în fig. 5.31 la 5.33 și tabelele 5.9 la 5.11.

Momentele încovoietoare și săgețile elementului B, nerepresentate în diagrame, sînt identice la planșeul de parocoseală cu ale elementului C, iar la tavan cu cele ale elementului A. Planșeele, fiind articulate în lungul muchiilor, din încărcările studiate nu rezultă momente încovoietoare și deplasări în pereți.

Analizîndu-se rezultatele experimentărilor se pot face următoarele constatări :

- săgețile și momentele încovoietoare cele mai mici sînt înregistrate la elementul etalon, G (are încastrări elastice în lungul tuturor muchiilor).

- săgețile maxime ale elementelor studiate, variază între 10% (elementul F), 10% (elementul A) și 10%, față de cele corespunzătoare ale elementului etalon.

- momentele încovoietoare maxime ale elementelor studiate, variază între 10% (elementul F), 10% (elementul A) și 15%, față de cele corespunzătoare ale elementului etalon.

În cadrul acestei serii de experimentări s-au analizat și efectele produse de imperfecțiunile de fabricație și montaj asupra stărilor de efort-deformație ale elementelor spațiale. Efectele au fost luate în considerare prin prevederea în calcul a unei excentricități adiționale de rezervă a elementelor spațiale suprapuse, la nivelul celui în domeniul sau asieto de sarcini; în cazul cîmăret s-a adoptat valoarea $e = 1$ cm [29, 110].

Analiza s-a efectuat asupra unui element spațial tip F, amplasat la parterul unei construcții cu 5 niveluri, în ipotezele de încărcare indicate în fig. 5.34. În acest caz s-a introdus momentul încovoietoare distribuit în lungul muchiilor, produse de forțe verticale N_y , rezultatul din ipoteza 1 de încărcare a elementelor spațiale în colcă.

Eforturile și deplasările obținute, sînt prezentate comparativ cu cele corespunzătoare, rezultate din încărcarea cu sarcini verticale și utile în gruparea fundamentală (ipoteza 1), în fig. 5.35 la 5.38 și în tabelele 5.12 la 5.15. În analiza acestora, în cazul concret studiat, pot fi făcute următoarele constatări :

- Imperfecțiunile de fabricație și montaj conduc la eforturi și deformații suplimentare ale căror valori depind de măsurile adoptate ;

- Săgețile și momentele încovoietoare suplimentare sînt de circa 20% la planșeele de pardoseală și la pereți, și de circa 30% la planșeele de tavan, față de valorile corespunzătoare în ipoteza 1 de încărcare.

- Momentele încovoietoare suplimentare cresc în jurul golurilor, la circa 40% pentru planșee și circa 50% pentru pereți (fig. 5.38) față de valorile corespunzătoare în ipoteza 1 de încărcare.

5.3.3. Experimentări numerice pe elemente spațiale. Serie 3

În cadrul acestei serii s-a făcut analiza unor soluții constructive pentru ouale de beton armat ale fundațiilor ciocanelor de forjă [30].

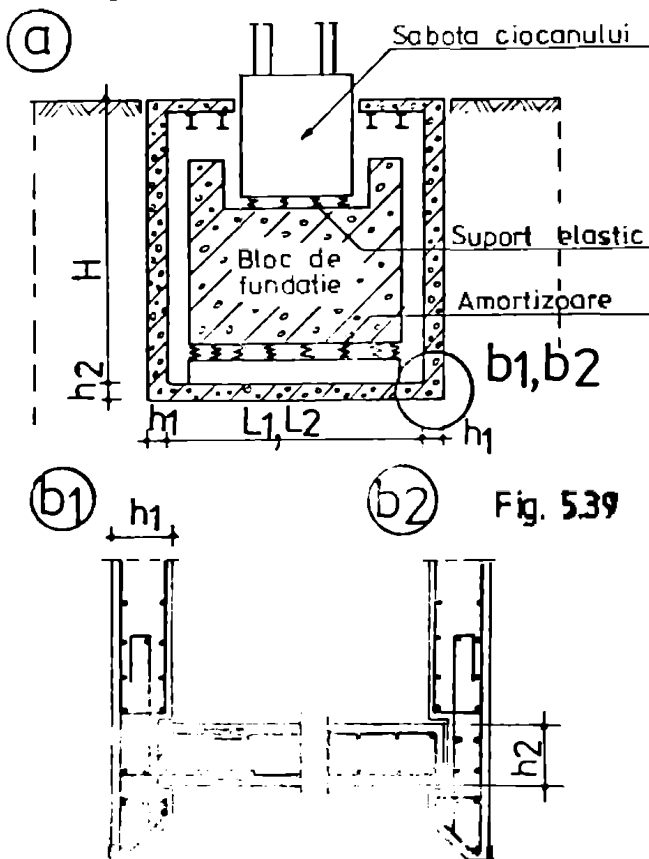
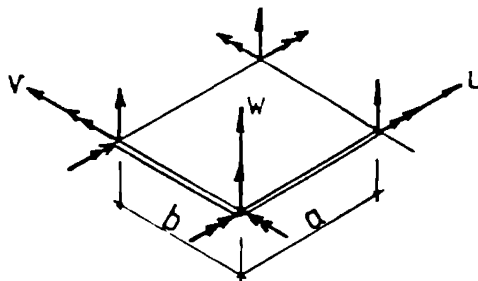
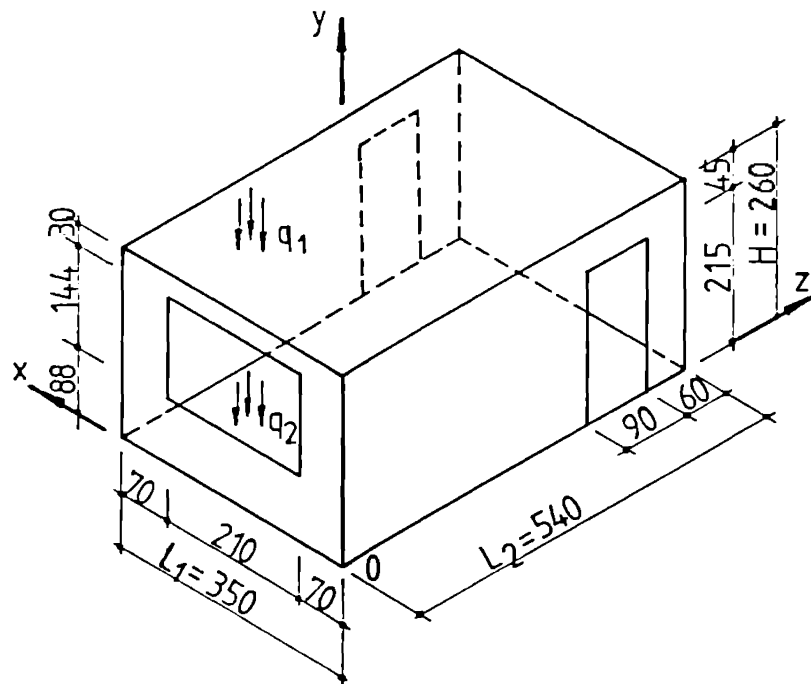
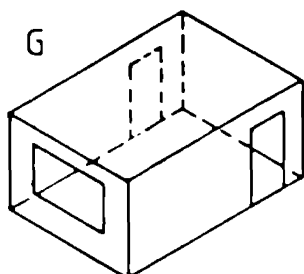
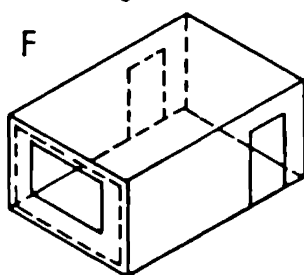
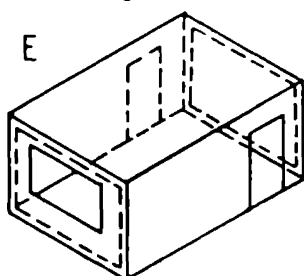
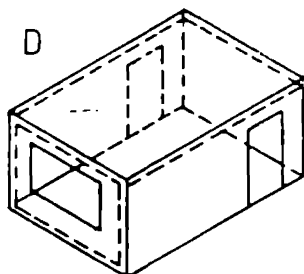
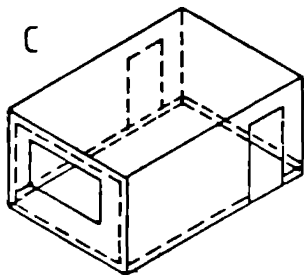
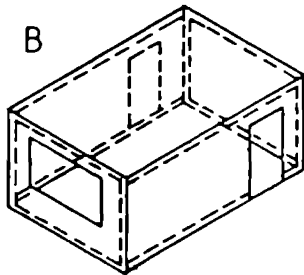
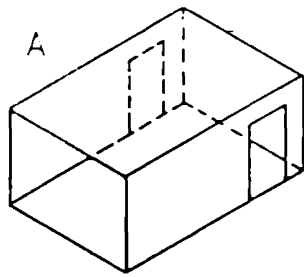


Fig. 5.39

acestea sînt construcții spațiale, subterane, cu dimensiuni și încărcări importante. Mecanismul oualei susține, prin intermediul unui sistem de amortizare (realizat în cazul nostru din arcuri de oțel), blocul de fundație al ciocanului și transmite încărcările la terenul de fundare (fig. 5.39a). Analiza constă în studiu comparativ pentru patru soluții constructive :

- Soluția A.1 : pereți încadrați la partea inferioară în radier și liberi la partea superioară;



Element finit dreptunghiular încovoiat

----- Incastrare elastică

==== Articulație

Material: beton armat BC 20

Grosimea pereților = 7cm

Grosimea planșeelor = 9cm

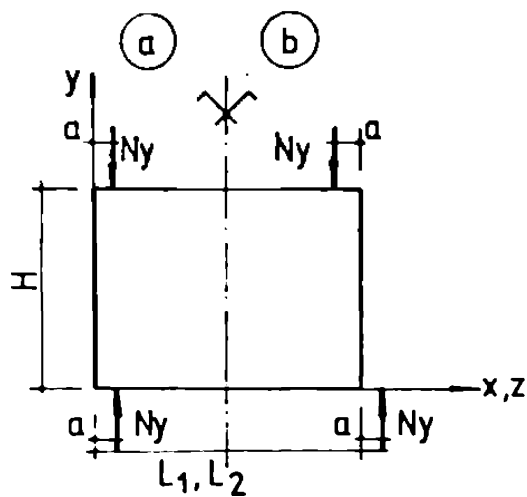
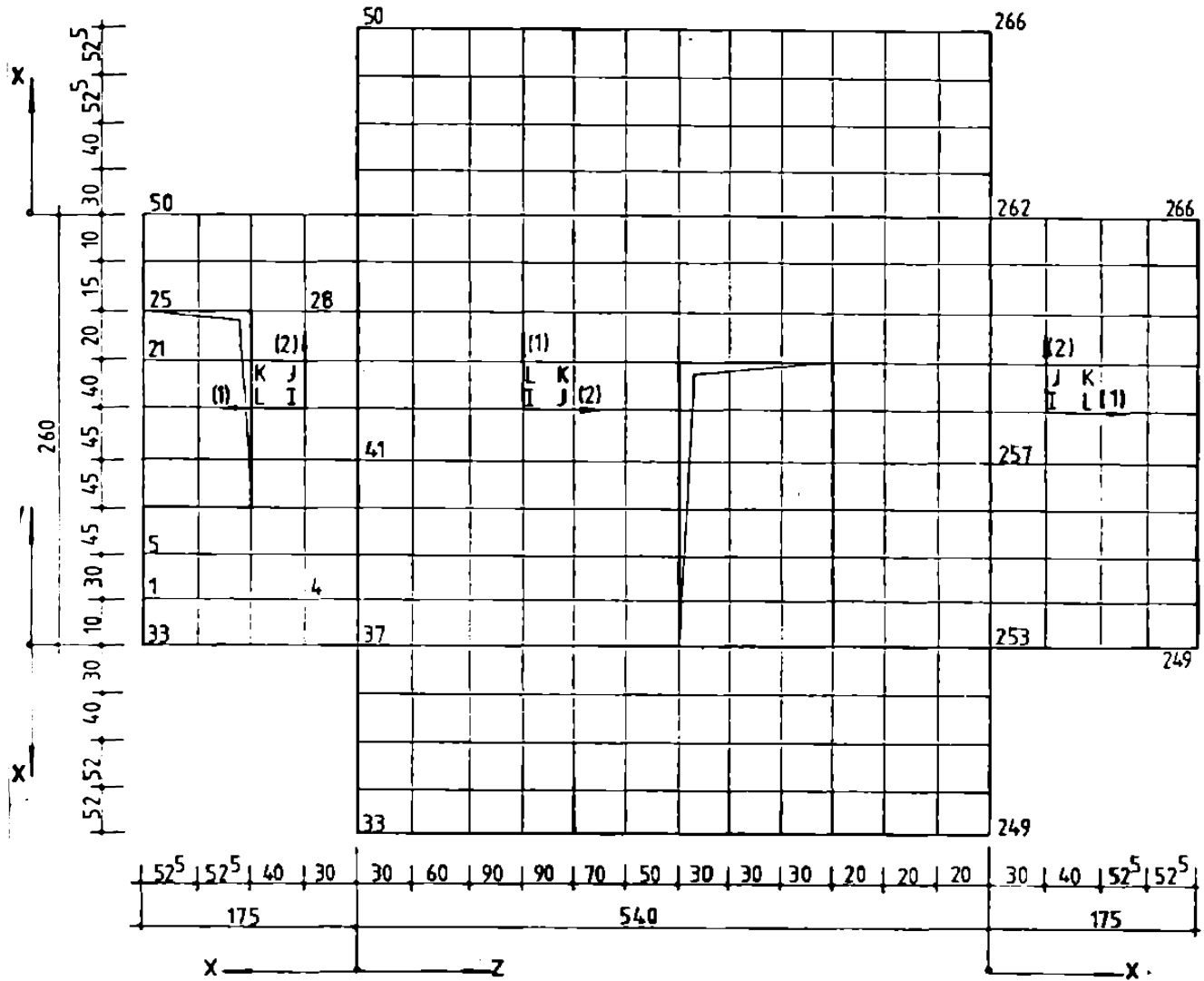
Încărcări uniform repartizate pe planșee:

$$q_1 = 250 \text{ daN/m}^2$$

$$q_2 = 560 \text{ daN/m}^2$$

Fig. 5.29 SERIA 2 - Nomenclatorul elementelor

Fig. 5.30 Desfășurata rețelei de discretizare



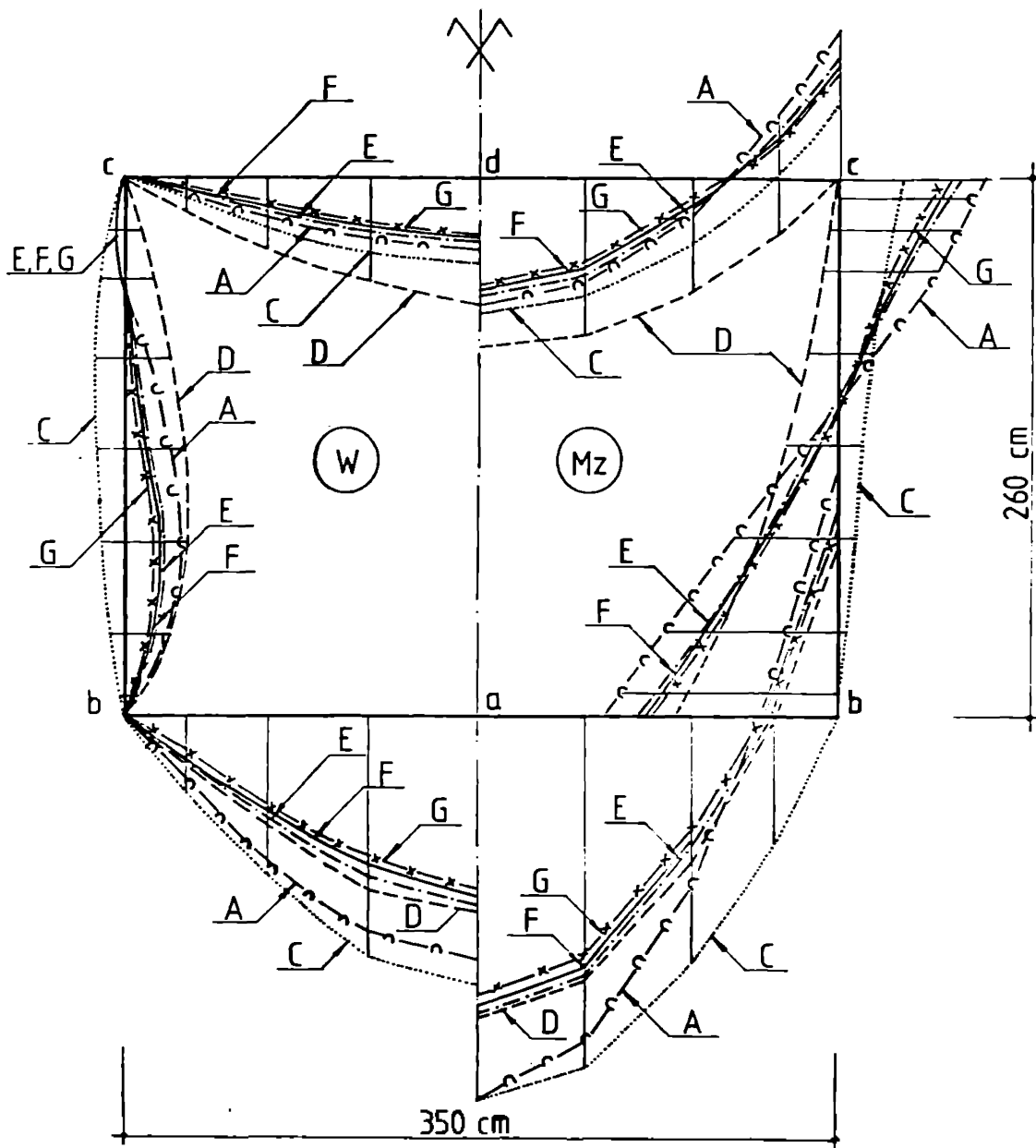
Ipoteza 1 - $q_1 = 250 \text{ daN/m}^2$; $q_2 = 560 \text{ Kg/m}^2$
aplicate \perp pe planșee

Ipoteza 2 - N_y , aplicată cu excentricitatea
 $a = 1 \text{ cm}$, pe schema (a)

Ipoteza 3 - N_y , aplicată cu excentricitatea
 $a = 1 \text{ cm}$, pe schema (b)

Fig. 5.34

Fig. 5.31 Variația momentelor încov. (M_z) și a săgeților (W) în secț. transv. $z = 270\text{ cm}$



Momente încov. (M_z) și săgeți (W) în secț. transv. $z = 270\text{ cm}$

Tabel 5.9

	Momente daN cm/cm				Săgeți cm			
	Ma	Mb	Mc	Md	Wa	Wd	W max.bc	
Elementul	A	552	344	213	183	0,355	0,103	0,088
	B	557	0	0	248	0,389	0,174	—
	C	557	0	104	194	0,389	0,121	0,040
	D	440	240	0	248	0,276	0,174	0,090
	E	441	291	191	172	0,270	0,096	0,060
	F	422	283	174	165	0,258	0,092	0,057
	G	407	276	169	164	0,248	0,092	0,053

Valori ale săgeților max.
în secț. long. $x = 175$ cm
Tabel 5.10

Elementul	Săgeți max. cm	
	W _{e,f}	W _{g,h}
A	0,423	—
B	0,389	—
C	0,389	0,121
D	0,276	0,174
E	0,270	0,096
F	0,258	0,092
G	0,248	0,092

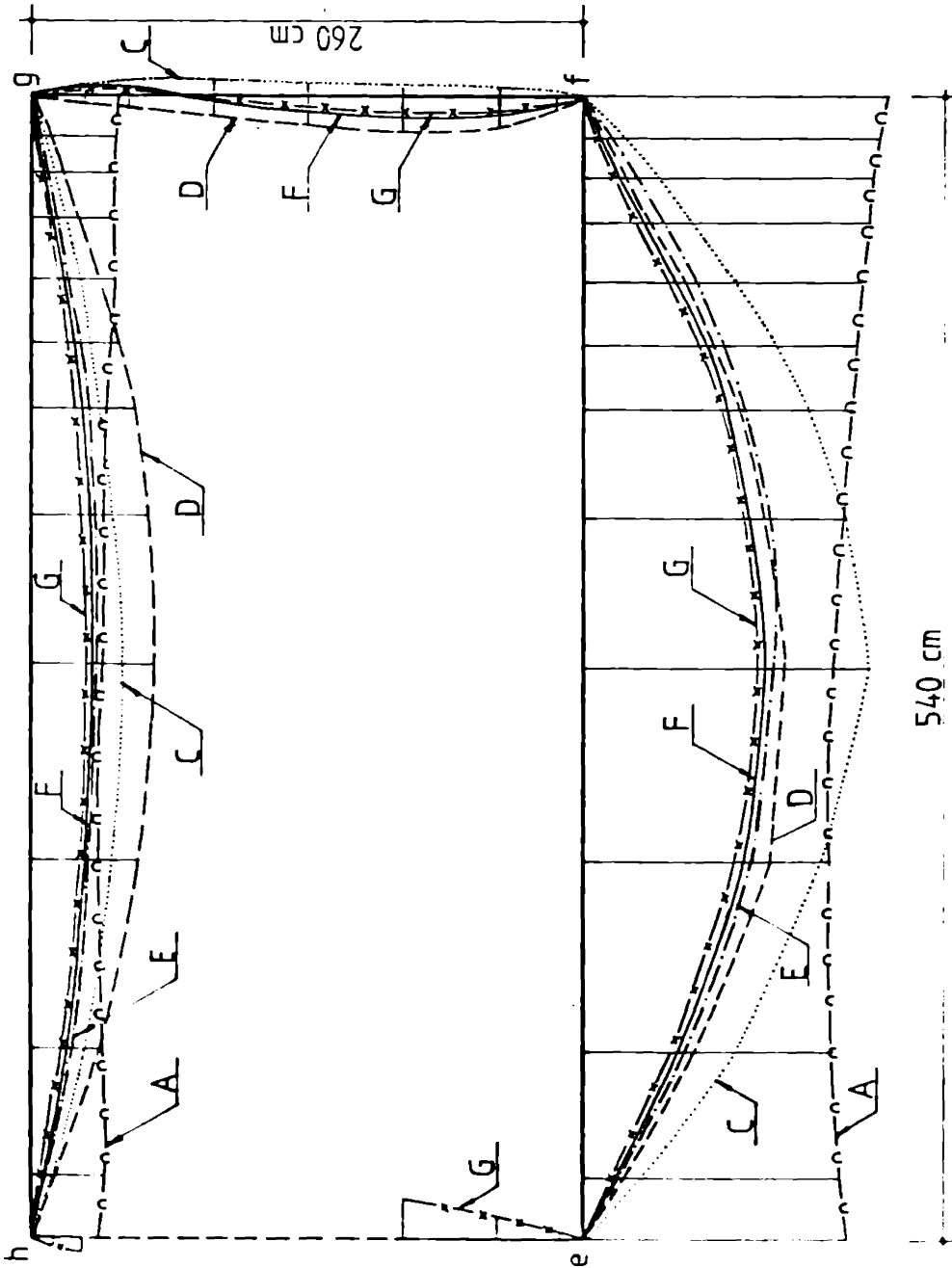
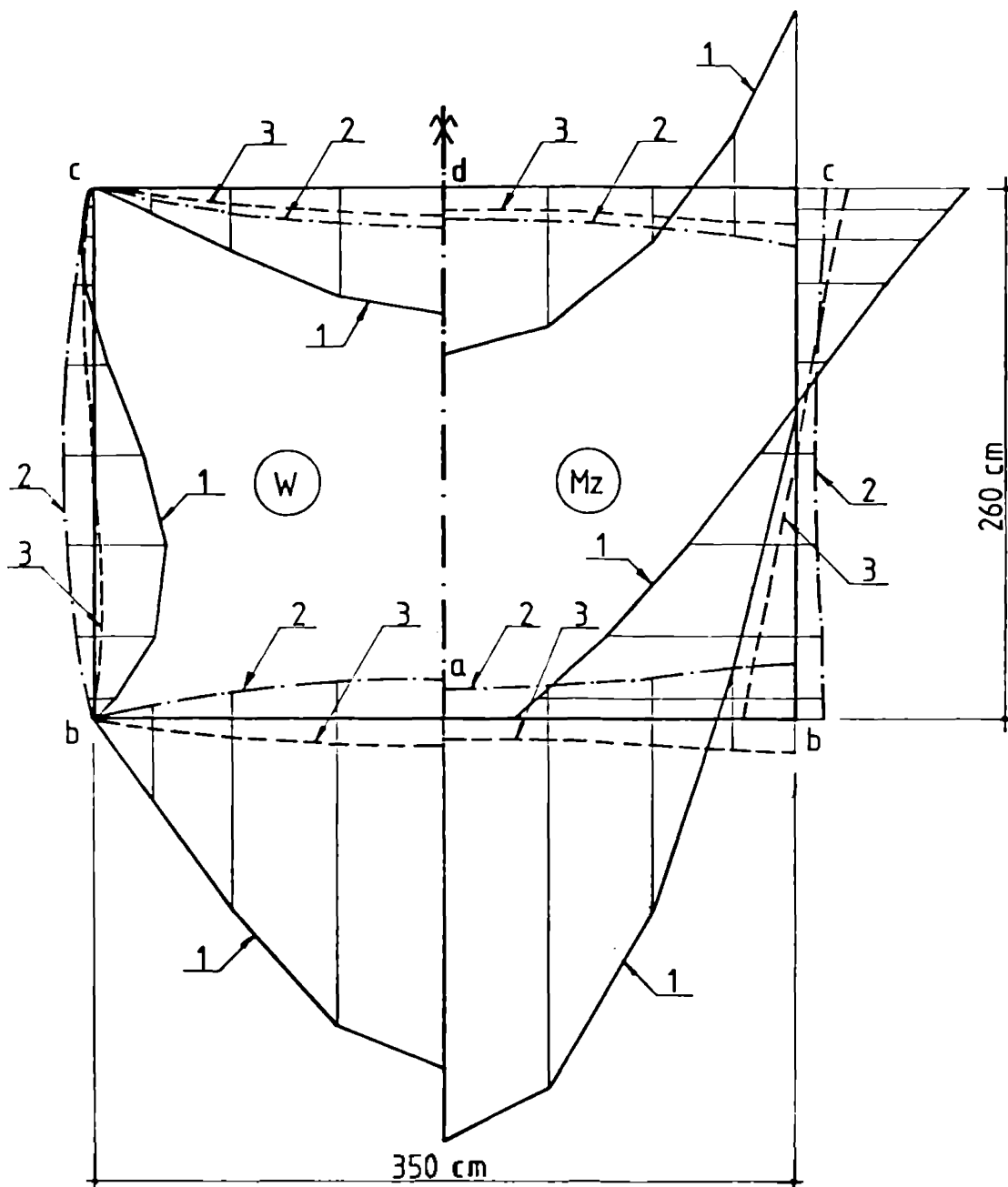


Fig 5.32 Variația săgeților W în secț. long. $x = 175$ cm

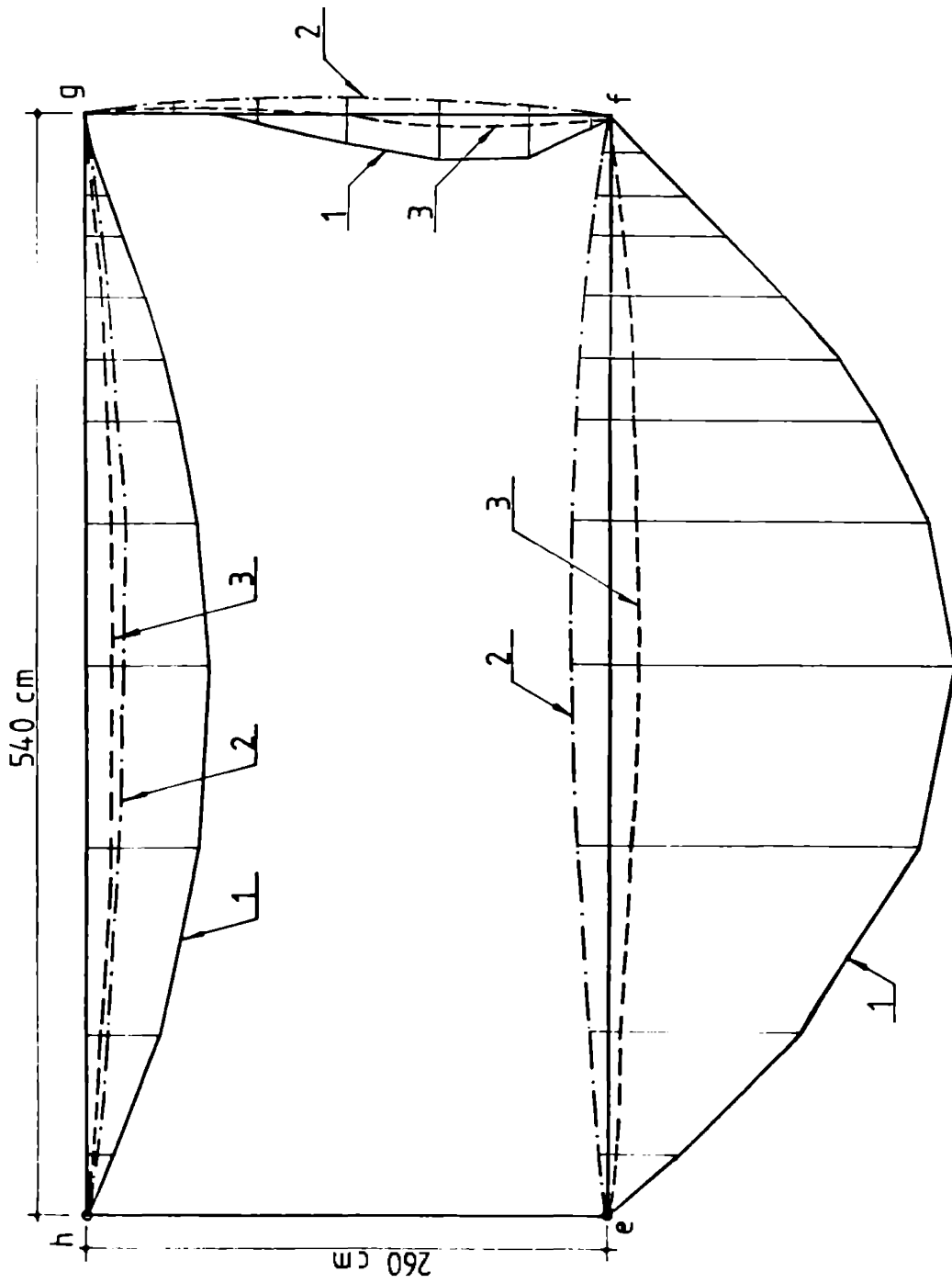
Fig. 5.35 Variația momentelor încov. (M_z) și a săgeților (W) pe ipoteze de încărcare, în secț. transv. $z = 270$ cm.



Valori ale momentelor încov. (M_z) și ale săgeților (W) în secț. transv. $z = 270$ cm.

Tabel 5.12

	Momente daN cm/cm						Săgeți cm			
	M_a	M_{ba}	M_{bc}	M_{cb}	M_{cd}	M_d	W_a	W_d	W_{bc}	
Ipoteza	1	422	283	283	174	174	165	0,258	0,092	0,057
	2	30	55	31	30	56	30	0,029	0,029	0,023
	3	22	35	51	51	35	22	0,021	0,021	0,006



Valori ale săgeților max. în secț.
long. $x = 175$ cm.

Tabel 5.13

	Săgeți max. cm	
	we,f	wf,g
1	0,258	0,032
2	0,029	0,015
3	0,021	0,005

Fig. 5.36 Variația săgeților w pe ipoteze în secț. long. $x = 175$ cm.

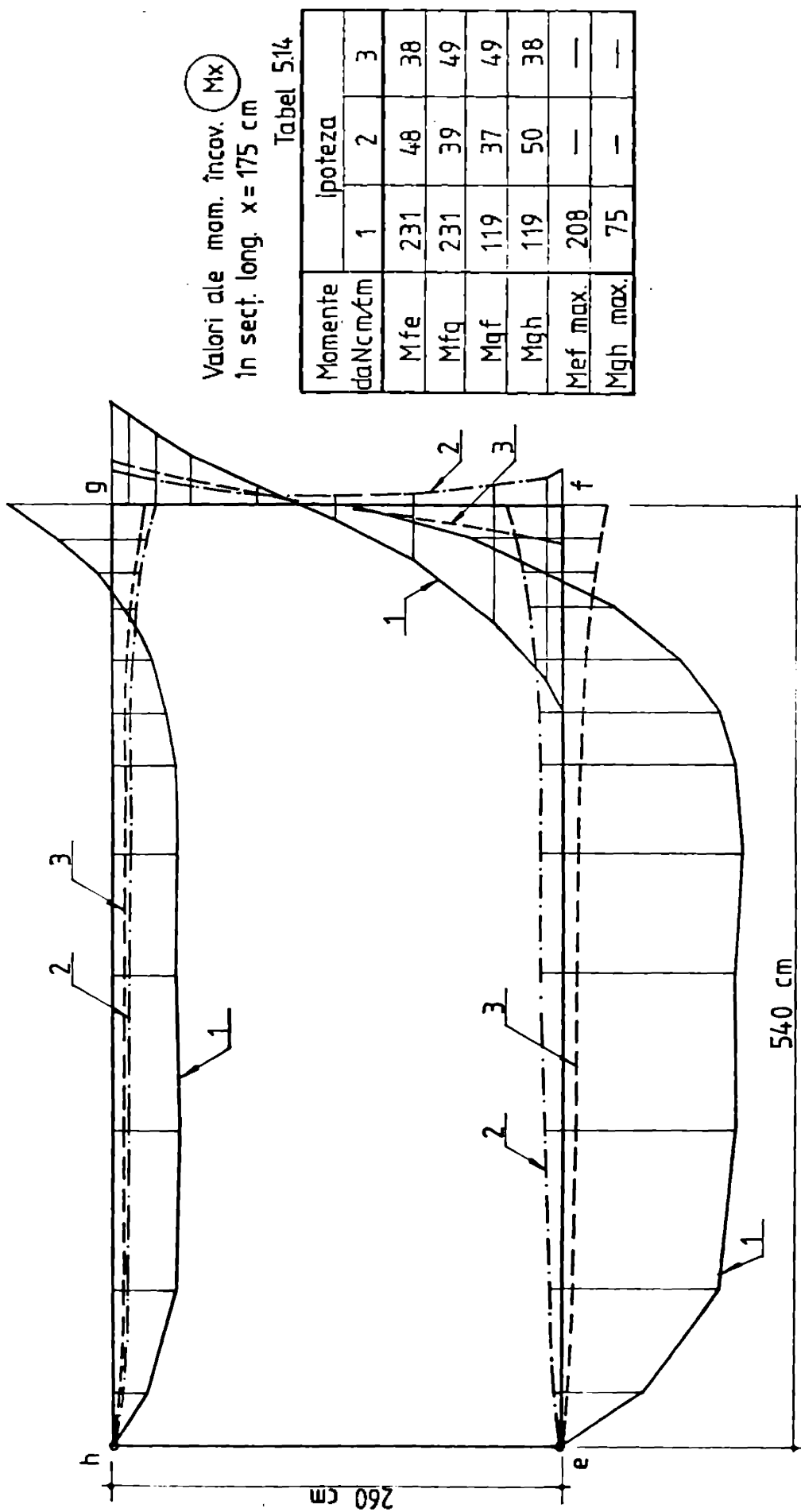
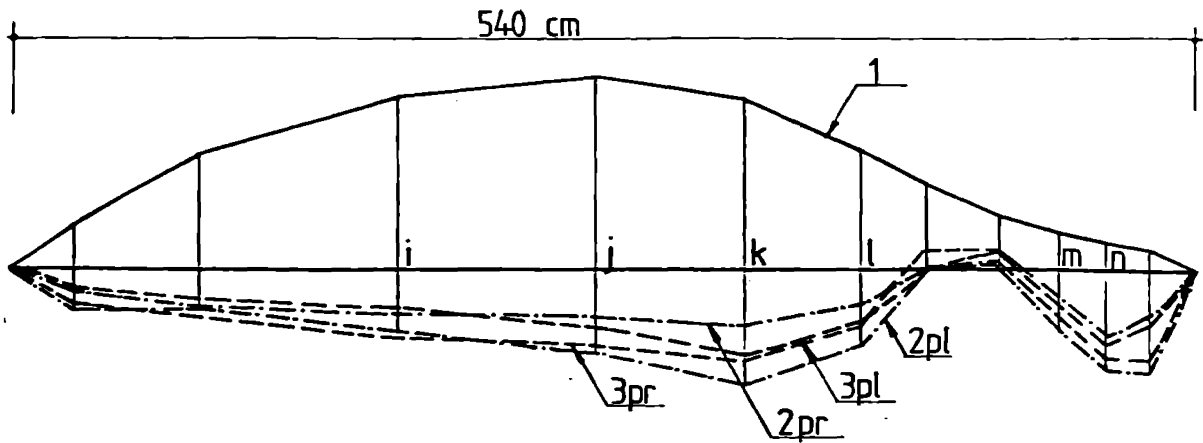


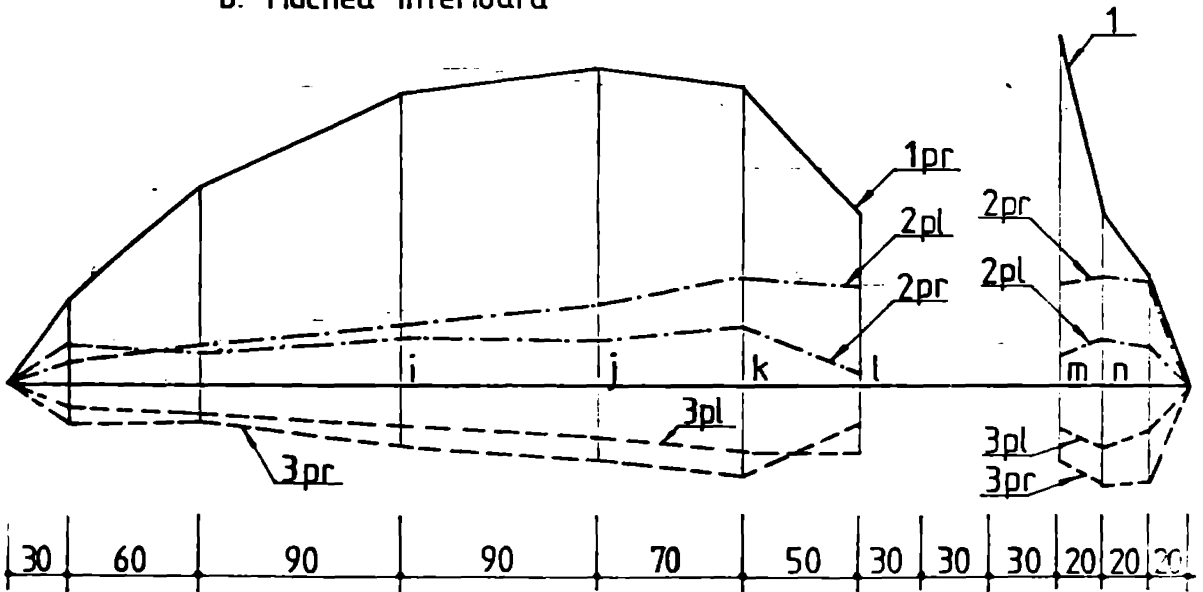
Fig. 5.37 Variația mom. încov. M_x pe ipoteze, în sect. long. $x = 175$ cm.

Fig. 5.38 Variația mom. încov. M_z în lungul muchiilor longitudinale

a. Muchea superioară



b. Muchea inferioară



Valori ale mom. încov. M_z (daNcm/cm) în lungul muchiilor long. Tabel 5.5

Punct		i		j		k		l		m		n		
		pr	pl	pr	pl	pr	pl	pr	pl	pr	pl	pr	pl	
Muchia	sup.	1	158	158	173	173	154	154	111	111	35	35	26	26
		2	27	43	30	56	36	74	20	47	38	13	65	43
		3	43	27	51	35	56	54	36	32	31	19	58	50
	inf.	1	260	260	283	283	265	265	160	160	320	320	155	155
		2	27	44	31	55	39	73	7	68	69	20	76	30
		3	43	28	51	35	61	48	29	48	49	28	67	40

pr - valori în perete
pl - valori în planșeu

- Soluția A.2 : pereți încastrați la partea inferioară în radier și rigidizați la partea superioară prin planșeul de acoperire;

- Soluția B.1 : pereți articulați la partea inferioară în radier și liberi la partea superioară ;

- Soluția B.2 : pereți articulați la partea inferioară în radier și rigidizați la partea superioară prin planșeul de acoperire.

Studiul s-a efectuat pe un caz concret de cuvă din beton B.300, având dimensiunile în plan de 10,80 x 10,80 m, adâncimea de 10,40 m, grosimea pereților și radiatorului de 0,80 m, iar grosimea planșeului de acoperire de 0,25 m. Cuvă susține, blocul de fundație al unui cloac de forjă de 3 tf. (fig. 5.39a). Încărcările luate în calcul sînt : încărcarea amortizată, din cloac și blocul de fundație $P.1 = 22,24$ tf./m², aplicată pe suprafața de 0,04 x 0,04 m² a radiatorului, forțele $P.2$ aplicate la partea superioară în planul pereților, rezultate din încărcarea planșeului cu o sarcină uniformă distribuită de 12,00 tf./m² și încărcările din împingerea pământului și acțiunea suprasarcinii pe pardoseală în jurul cloacului (12,0 tf./m²) $P3 = 4,40$ tf./m², $P31 = 12,30$ tf./m² (fig.5.40b).

Determinarea stării de efort - deformație s-a făcut printr-un calcul spațial care ia în considerație și interacțiunea structurii cu terenul de fundație prin adoptarea modelului de calcul prezentat în fig. 5.40c. Pentru calcularea radiator - teren s-a adoptat ipoteza Winkler : reacțiunea mediei într-un punct pe suprafața de contact cu placa $q(x,y)$, este proporțională cu deplasarea pe verticală din acel punct $w(x,y)$, [17], conform relației :

$$q(x,y) = K(x,y)w(x,y) \quad (5.64)$$

unde $K(x,y)$ este coeficientul de tensiune sau de rigiditate al terenului.

Schemă de calcul a fost modelată cu elemente finite (fig. 5.40c): pereții și radiatorul cu elemente finite de șabla-dală, planșeul de acoperire (prevăzut cu goluri tehnologice de întreținere) cu elemente finite de șabla (solicitarea de încovăire este preluată de grinzii metalice), iar prizele de pământ de sub radier, cu elemente finite de bară elastic - deforșabile, solicitate axial (rasteri). La determinarea caracteristicilor de rigiditate ale terenului s-a considerat că deformațiile se amortizează pe o adâncime de 10,0 m. Modulul de deforșare al terenului determinat experimental, la cota de rănare (- 10,40 m) $K_0 = 480$ daN/cm², a fost corectat cu adâncimea de calcul (10,0 m), cu relația :

$$E_z = E_0 (1 + \alpha) z \quad (5.65)$$

în care :

$\alpha = 0.2$, coeficient adoptat din [17]

$Z =$ adâncimea în m

rezultând o valoare medie $\alpha_z = 960 \text{ daN/cm}^2$.

Intrucit structura are două planuri verticale de simetrie, calculele au fost făcute pe un sfert de cupă.

Analizele numerice au fost efectuate cu programul RALAS [52, 173], rezultatele fiind prezentate în fig. 5.41 la 5.43 și tabelul 5.16. Momente încovoietoare maxime [daNm/m] Tabel 5.16

soluția constructivă	M_x max.					M_z max.			
	muchia AB	perete BB		radier BC		perete BB		muchia AA	
	M_x	M_x	$\frac{M_x}{M_x A_1 A_2}$	M_x	$\frac{M_x}{M_x A_1 A_2}$	M_z	$\frac{M_z}{M_z A_1 A_2}$	M_z	$\frac{M_z}{M_z A_1 A_2}$
A1	48850	17084	1.00	18853	1.00	33128	1.00	64988	1.00
B1	0.00	23202	1.36	33505	1.78	35600	1.07	71928	1.11
A2	48168	21344	1.00	18853	1.00	24436	1.00	57074	1.00
B2	0.00	25450	1.19	33505	1.78	31362	1.28	66630	1.17

În 5.41 este prezentată deformația spațială a cuvei în soluția constructivă A.1, din poziția inițială A B C D A' B' D' cuva se deplasează în poziția deformată A₁ B₁ C₁ D₁ A₁' B₁' D₁'.

Analizându-se rezultatele obținute, se pot trage următoarele concluzii :

- Presiunile pe terenul de fundare cresc către marginile radiatorului, mai mult în cazul soluției constructive B.1 decât în soluția A.1, datorită scaderii rigidității radiatorului articulat pe contur față de a celui încastrat.

- Soluțiile constructive B.1, B.2 (radier articulat) conduc la creșterea momentelor încovoietoare maxime, față de soluțiile A.1, A.2, în radier cu 78% și în pereți cu 7 - 36%. Totuși, având în vedere anularea momentelor de încastrare pe muchie AB și simplificarea legăturilor între radier și pereți, soluțiile B.1, B.2 devin eficiente în cazul adoptării tehnologiei de ancoraje în șeson (fig. 5.39 b.1, b.2), aplicată mai ales când cuvele se amplasează în hale existente.

- Soluțiile constructive A.2, B.2 (marginii superioare rigidizate) conduc la scăderea cu 12 - 20% a momentelor încovoietoare maxime față de soluțiile A.1, B.1 și la creșterea semnificativă, în

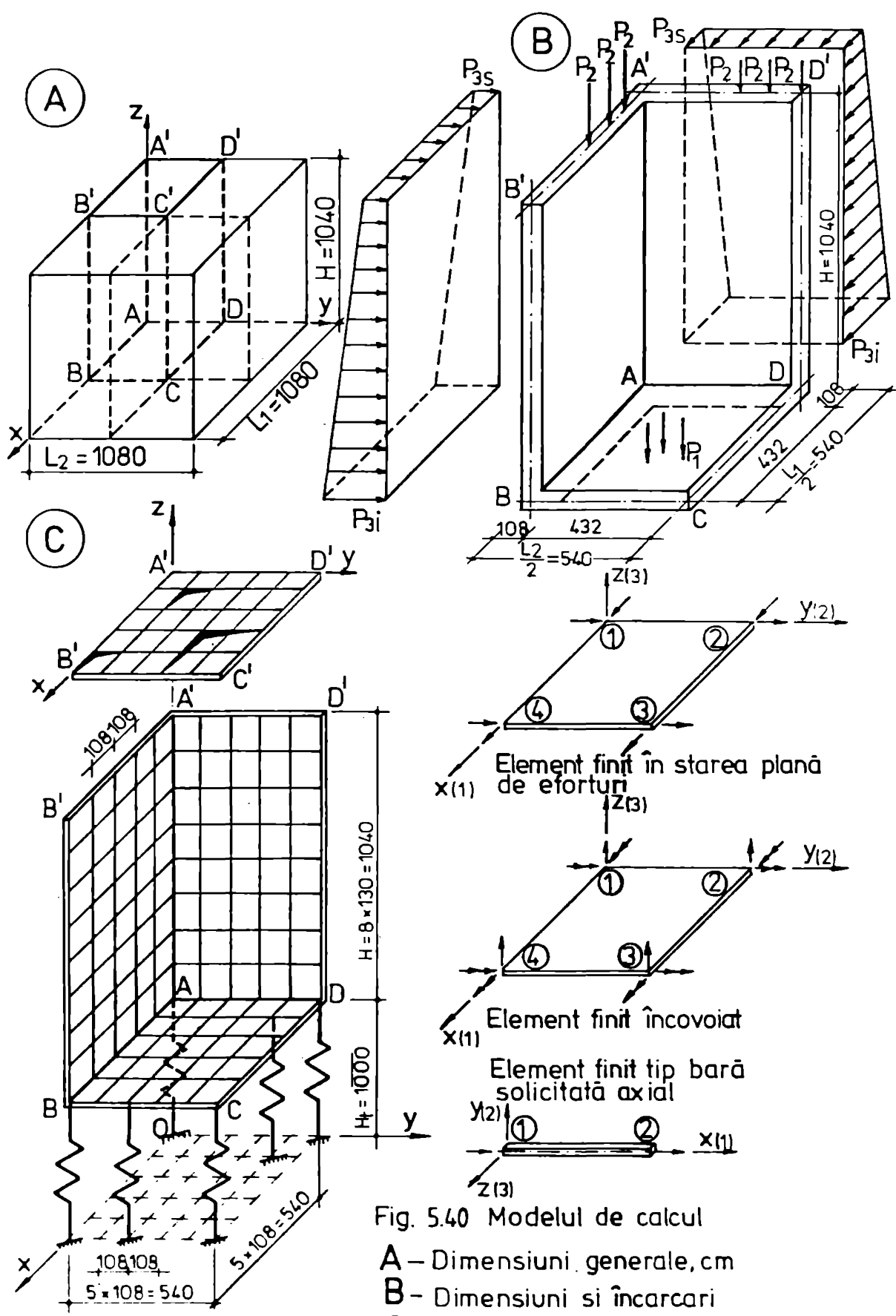


Fig. 5.40 Modelul de calcul
 A - Dimensiuni generale, cm
 B - Dimensiuni si încarçari
 C - Discretizarea în elemente finite

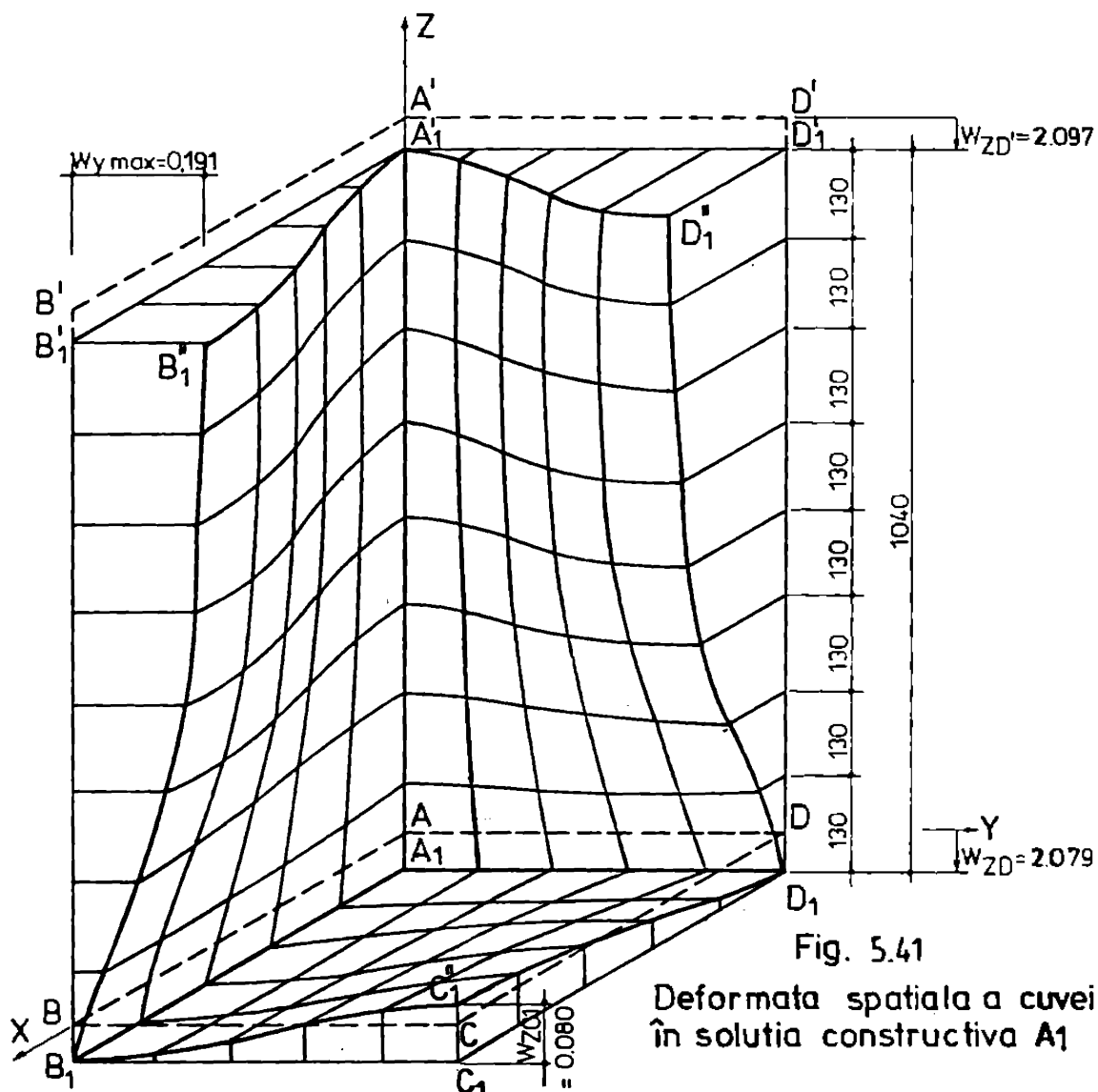


Fig. 5.41

Deformata spatiala a cuvei în solutia constructiva A1

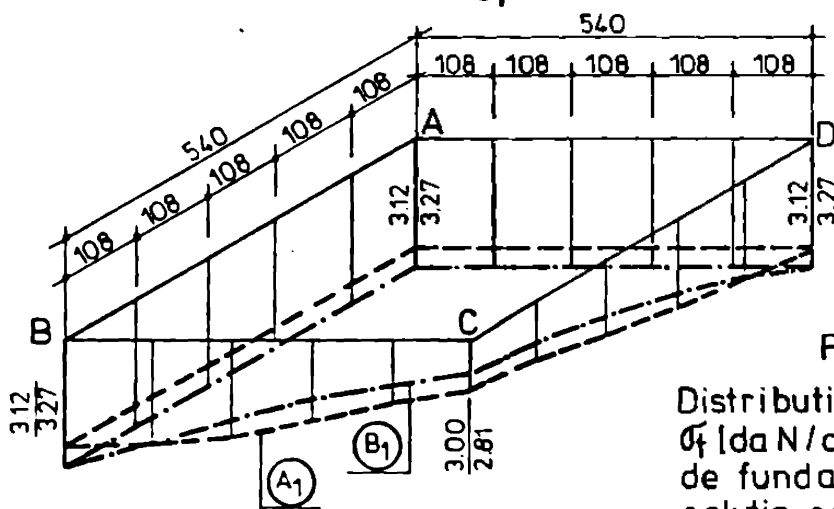


Fig. 5.42

Distributia presiunilor σ_f [daN/cm²] pe terenul de fundatie functie de solutia constructiva [A₁, B₁]

valoare absolută a momentelor ax; această constatare conduce la indicarea adoptării la proiectare, oricând este posibil, a soluțiilor constructive cu planșeu de rigidizare a marginilor superioare.

5.3.4. Concluzii rezultate din experimentările numerice pe elemente spațiale.

a) Referitor la sistemele de alcătuire.

Capacitatea de rezistență și rigiditatea elementului spațial sînt cu atât mai mari cu cît gradul de monolitism al acestuia este mai mare; în acest sens este înțeleasă preocuparea unor titulari de sisteme de elemente spațiale pentru realizarea unor instalații și adoptarea unor tehnologii care să asigure un înalt grad de monolitism. [180, 131, 110, 104]. Cele mai eficiente, din punct de vedere al alcătuirii structurale, sînt sistemele F și S; eforturile și deplasările lor se îndepărtează cel mai puțin de ale elementului etalon G. Sistemul E (pahar) este mai eficient, din punct de vedere structural, decît sistemul C (clopot) întrucît încărcările, mai mari pe planșeu de pardoseală decît pe cel de tavan, se transmit la rezeme pe o schemă mai avantajoasă. Sistemul B (cutie asamblată din panouri) folosește o tehnologie simplă dar conduce la eforturi mari în planșee (considerate articulate pe contur).

Creșterea numărului și mărimii golurilor în pereții elementelor spațiale conduce la creșterea eforturilor și reducerea rigidității acestora. La alcătuirea elementelor spațiale cu goluri mari în toți pereții, se vor avea în vedere următoarele condiții [29, 1] :

- asigurarea, pentru montanții și riglele buclandrugilor, a unor secțiuni corespunzătoare de beton și armătură, care să nu cedeze sub anumite limite ;

- prevederea montanților cu spateți pe două direcții ;

- rigidizarea în plan vertical a planșeelor de pardoseală cu o nervură perimetrală.

b) Referitor la modul de rezemare.

În cazul rezemării liniare a elementelor spațiale, din încălzirea cu greutate proprie și sarcine utilă aplicată pe planșeu de pardoseală, rezultă o distribuție neuniformă a reacțiunilor, cu descărcarea colțurilor ; coeficientul de uniformitate a distribuției depinde de prezența și mărimea golurilor în pereți.

Pentru cazurile curente, cînd elementele spațiale au goluri de mariime ușilor și ferestrelor, eforturile unitare în starea

plană din încărcările direct aplicate pe acestea (greutate proprie, sarcină utilă), au valori mici, nesemnificative.

În cazul elementelor spațiale rezemate concentrat, din aceeași încărcări, apar eforturi suplimentare, semnificative, în starea plană (de ex. pereții lucrează ca grinda-pereți).

c) referitor la efectele imperfecțiunilor de fabricație și montaj.

Imperfecțiunile de fabricație și montaj ale elementelor spațiale, au ca efect eforturi și deformații suplimentare, ale căror valori depind de mărimea abaterilor. Pentru abateri la nivelul prevederilor din norme [29, 110], sintetizate prin excentricitatea adițională de rezemare $e = 1$ ca., în cazul elementelor spațiale având grosimea pereților de 7 ca. folosite la clădiri cu 5 niveluri, eforturile și deplasările suplimentare sînt de 20 - 30% față de cele corespunzătoare încărcărilor de exploatare; aceste eforturi suplimentare cresc la 40 - 50% în jurul golarilor. Avîndu-se în vedere eforturile suplimentare destul de mari provocate de imperfecțiuni se recomandă limitarea la nivele mai mici a abaterilor admisibile, prin adoptarea unei tehnologii care să asigure precizia sporite la fabricație și montajul elementelor spațiale. (Se menționează că procedeele VANISH [70] și SIGMA [1] adăugă abateri la dimensiunile elementelor spațiale de max. 2-3 mm).

De asemenea se recomandă întărirea constructivă a elementelor spațiale în jurul golarilor, prin prevederea unor secțiuni corespunzătoare de butașuri și montanți.

5.4. EXPERIMENTARI NUMERICE ASUPRA COLOANELOR ÎN STADIUL ELASTIC

Au fost efectuate experimentări numerice, în stadiul elastic, pentru încărcări sferente fața de exploatare, pe 20 de coloane de elemente spațiale, grupate în două serii.

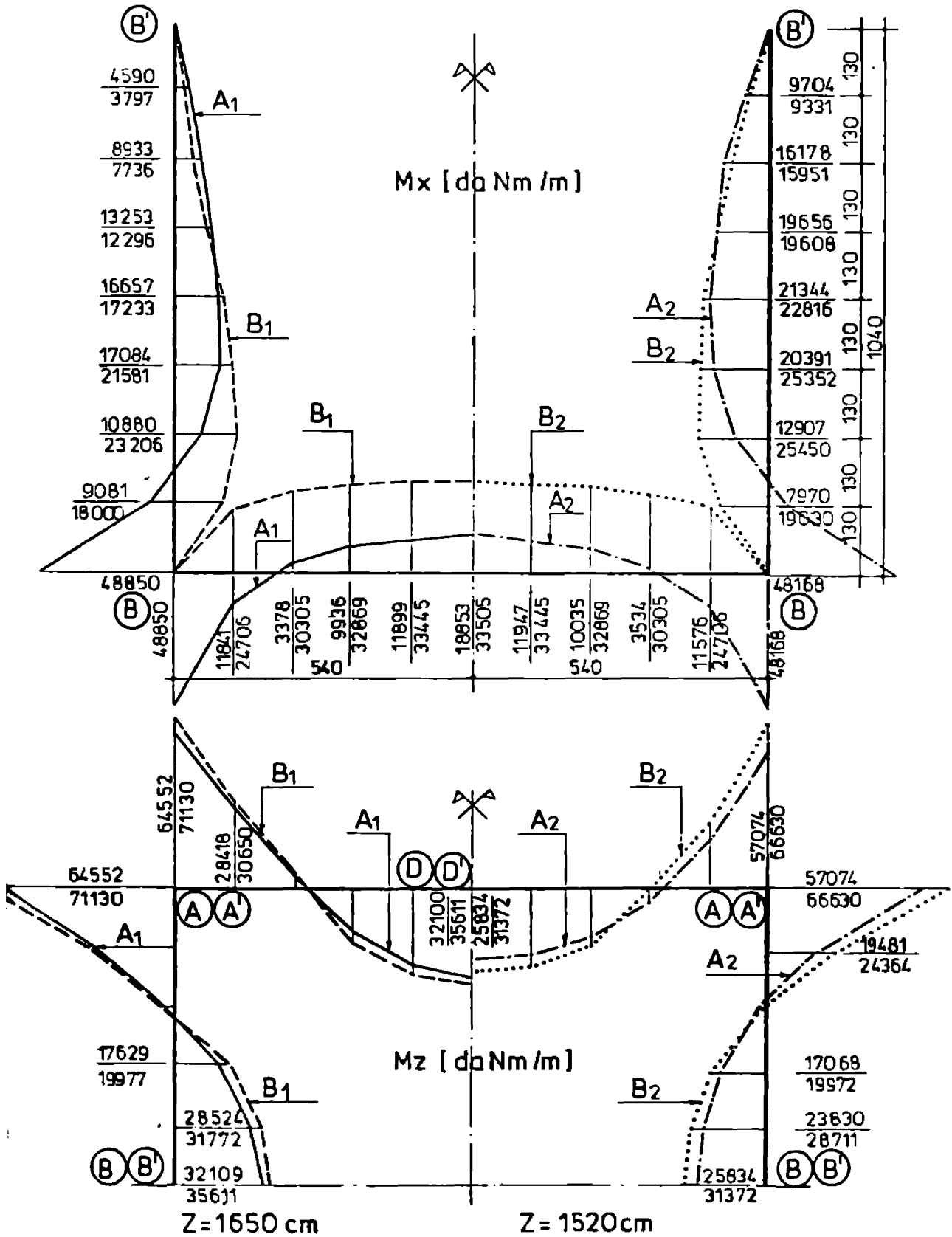
Prima serie de experimentări, efectuate pe coloane cu 5 și 10 niveluri (Fig. 5.44) are ca obiectiv principal :

. analiza comparativă a modelelor de calcul MEB, MEU și MSF (5.1.2);

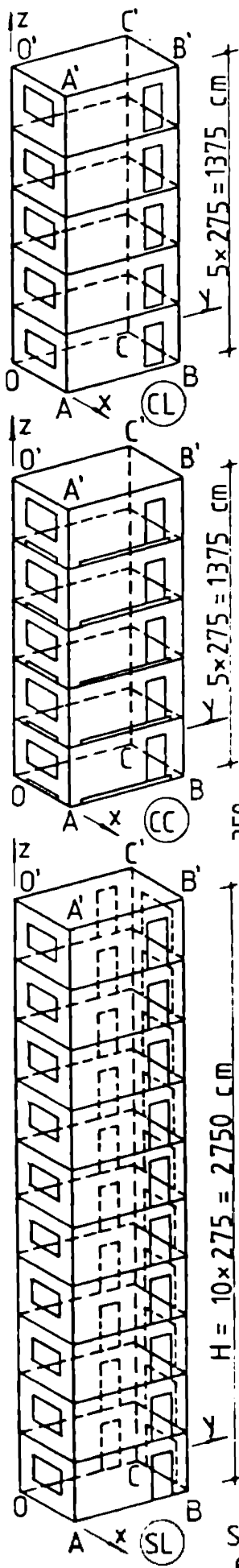
. studiul influenței modului de rezemare a elementelor spațiale în coloană : liniară, concentrată pe celțuri și cu imperfecțiuni ;

. analiza comparativă a coloanelor avînd pînourile de fața de portante sau numai de rigidizare ;

Fig. 5.43 Variatia mom. încov. în funcție de solutia constructiva [A₁,B₁,A₂,B₂]

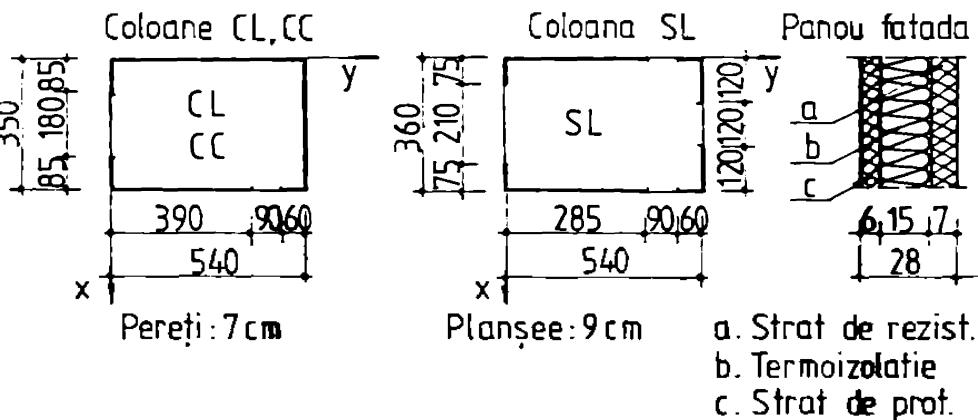


NOMENCLATORUL COLOANELOR , SERIA 1



Nr. crt.	Denum. coloana	Legături cu structura	Er	Ipoteze de inc.	Obiectul experimentării
1	C1L	Tors. imp.	0,5 Eb	2	Analiza modelelor de calc. MEF, MED, MEB
2	S1L	- II -	0,5 Eb	2	
3	C2L	Col. libera	0,15Eb	2,3	Analiza mod. de rezemare: - rez. liniara (CL) - rez. concentrata (CC) - imprf. de rez. (IR1, IR2)
4	C2C	- II -	0,15Eb	2,3	
5	C2L-IR1	- II -	0,15Eb	2,3	
6	C2L-IR2	- II -	0,15Eb	2,3	
7	C3L-P	Tors imp.	0,5Eb	1,3	Analiza panouri fatada - portante (P) - de rigidizare (R)
8	C3L-R	- II -	0,5Eb	1,3	
9	C4L	- II -	0,15Eb	2,3	Infl. legat cu struct.
10	C5L1	Col. libera	0,5Eb	4	Stud. tens. si deform. produse de cupluri de forte.
11	C5L2	- II -	0,5Eb	4	

CARACTERISTICI GEOMETRICE



MATERIAL: Beton armat BC 20

INCARCARI Ipoteza 1- Incarcari seismice (-Sx)

Ipoteza 2- Incarcari seismice (Sy)

Ipoteza 3- Incarcari gravit. din gr. proprie si sarcina utila (Gz)

Ipoteza 4- Incarcarea cu cuplurile de forte (P)

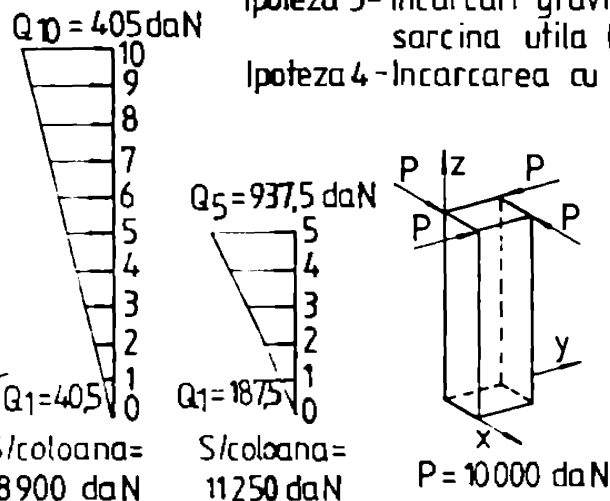


Fig. 5.44

- . analiza comparativă a coloanelor tratate ca libere sau făcând parte din structura clădirii ;

- . studiul efectului golurilor din pereți în solicitarea coloanelor la torsione.

A doua serie de experimentări, efectuate pe coloane cu 5 niveluri (fig. 5.59), are drept scop :

- . analiza efectului rigidității reale a îmbinărilor între elementele suprapuse, comparativ cu ipoteza monolitizării perfecte;

- . studiul comportării în stadiul elastic, a coloanelor ca elemente spațiale realizate cu îmbinări simple : rost orizontal din mortar de ciment, crăături verticale de continuitate concentrate în colțuri și profiluri perimetrice pentru preluarea lunecărilor din rosturi.

Experimentările au fost efectuate cu metode elementelor finite, folosindu-se programul PALAS [173]. S-au utilizat elemente finite de șabă și de bară. Un exemplu de discretizare în elemente finite a coloanelor cu 5 niveluri este indicat în fig. 5.45; rețeaua de discretizare are 868 puncte. Pentru coloana B.2 (fig. 5.59), urmare discretizării, au rezultat 650 elemente finite de șabă și 200 de elemente finite de bară; pentru două ipoteze de încărcare (1.750 ecuații), durata de rezolvare la calculatorul FBIX C.250 a fost de 41 minute.

5.4.1. Experimentări numerice pe coloane de elemente spațiale. Seria 1.

Experimentările au fost efectuate pe coloane cu 5 și 10 niveluri alcătuite din elemente spațiale tip penar culcost (sistemul F), considerate ca făcând parte din structura unei clădiri cu planșee rigide (torsionare individuală împiedicată), a-seu fiind tratate ca structuri independente (coloane libere). Numărul coloanelor, dimensiunile geometrice, ipotezele de încărcare și obiectul experimentărilor, sînt indicate în fig. 5.44. Încărcările seismice convenționale, corespunzătoare gradului 8 de protecție antiseismică pentru coloanele cu 5 niveluri și respectiv gradul 7 pentru coloanele cu 10 niveluri, au fost distribuite triunghiular pe cele patru muchii ale coloanelor ; valorile forțelor concentrate la nivelul planșeeilor sînt date în fig. 5.44.

Sînt prezentate în continuare obiectul experimentărilor și rezultatele obținute.

a) Analiză comparativă a modelelor de calcul MB, ML și MF (5.1.2.)

Analizându-se rezultatele calculului calculului C.L.L (5 niveluri) și S.L.L (10 niveluri) la forțe seismice convenționale, cu modelele MB, ML și MF, sintetizate în fig. 5.47 și 5.48, pot fi făcute următoarele constatări:

- Din distribuția eforturilor unitare normale σ_z în secțiunile de la baza (fig. 5.47 a,b,c și fig. 5.48 a,b), rezultă că, în general acestea cresc cu complexitatea modelului de calcul folosit (de la MB la MF); modelul MF evidențiază în cea mai mare măsură capacitatea de rezistență a structurii;

- În cazul montanților cu rigiditate mică modelul de calcul MB conduce la o subevaluare a eforturilor unitare σ_z , față de modelul MF;

- Din distribuția eforturilor unitare σ_z , determinată cu modelul MF, rezultă că tulpile diafragmelor sînt active pe întregul lor, secțiune;

- Din variațiile pe niveluri ale forțelor tăietoare în riglele de cuplare Q_z , prezentate în fig. 5.47 e și 5.48 d, rezultă că ML conduce la o subevaluare a acestora la nivelurile inferioare (cu cea 20%) și o supraevaluare la nivelurile superioare (cu cea 90 la 130%);

- Deplasările laterale W_y , la nivelul caracteristic (OBH), determinate cu modelele MB și ML, se îndepărtează puțin de valorile determinate cu MF (- 9% la + 16%).

b) Analiză modului de rezemare a elementelor spațiale în coloadă.

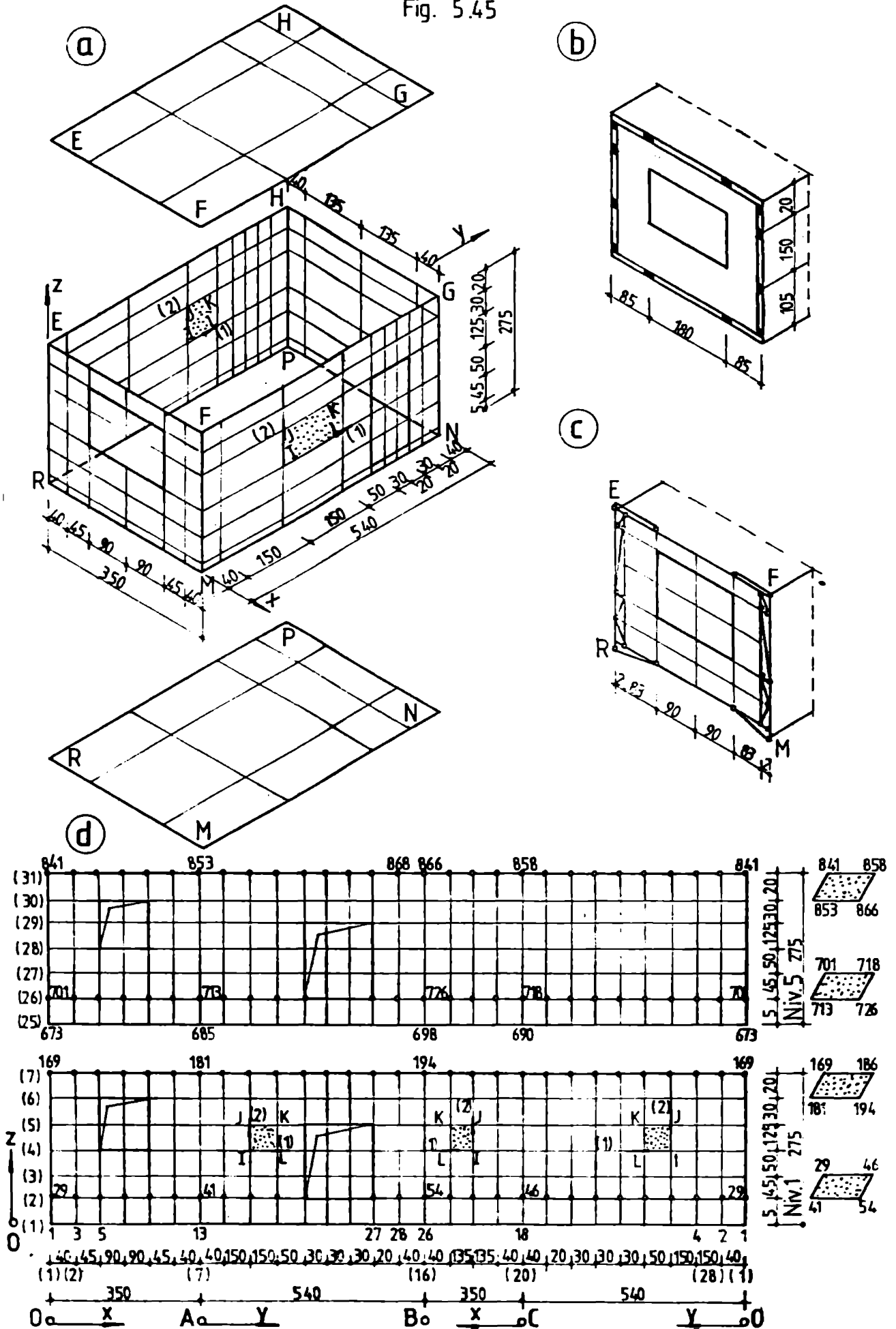
Pe coloadă cu 5 niveluri, liberă, au fost studiate trei cazuri de rezemare:

- Rezemarea liniară, pe centur, a elementelor spațiale în coloadă (coloadă C2L);

- Rezemarea concentrată pe colțuri (pe zone de cîte 60 cm lungime adiacente colțurilor) a elementelor spațiale în coloadă (coloadă C2C);

- Imperfecțiuni de rezemare a coloadăi C.L.2 la bază: cazul I_{col.1} - cînd coloadă este rezemată pe zonele BR.1 și BL (40 + 175 cm lungime) adiacente colțului B - și cazul I_{col.2} - cînd coloadă este rezemată pe zonele BR.2 și BL (zona de rezemare din planul ABE'A' a fost extinsă peste golul de ușă) (fig. 5.50 a).

129
Fig. 5.45



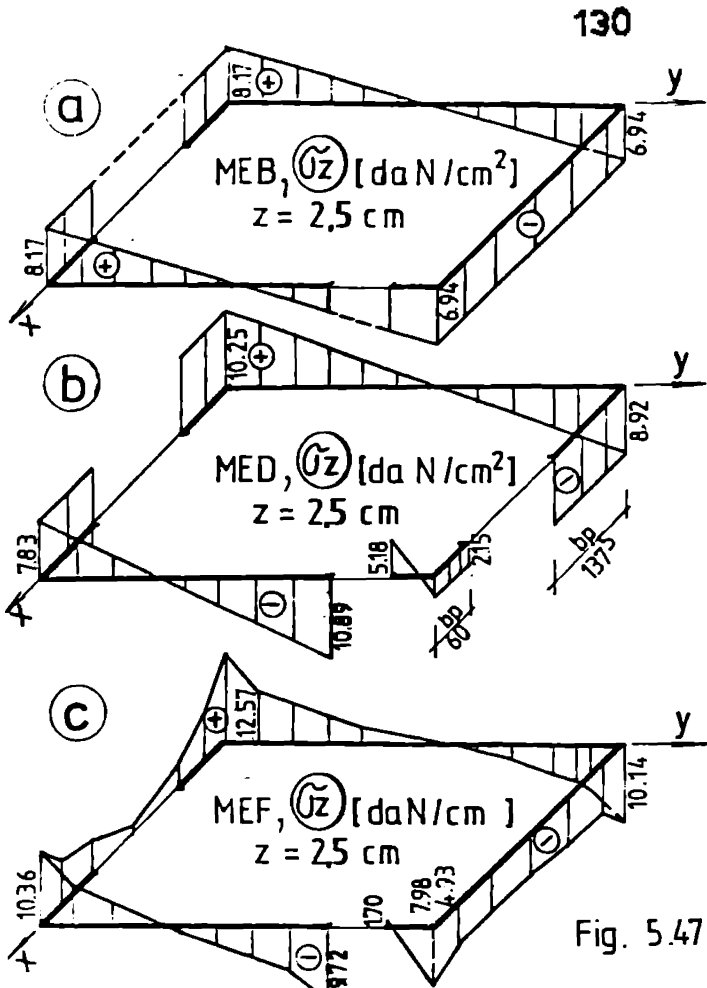


Fig. 5.47

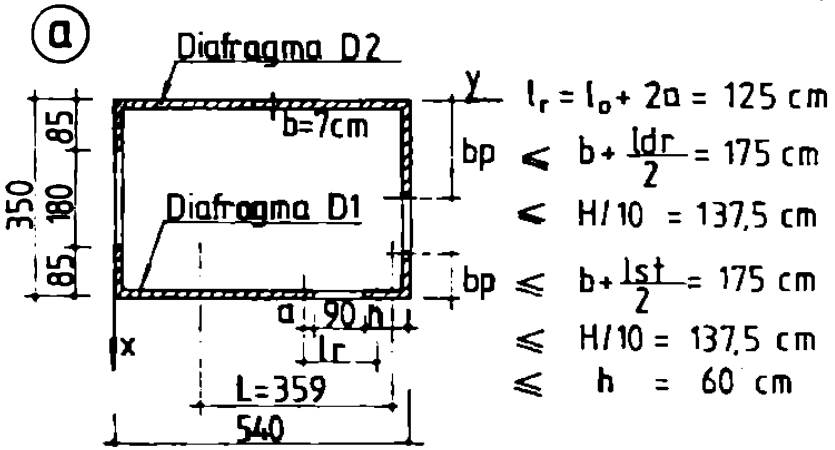
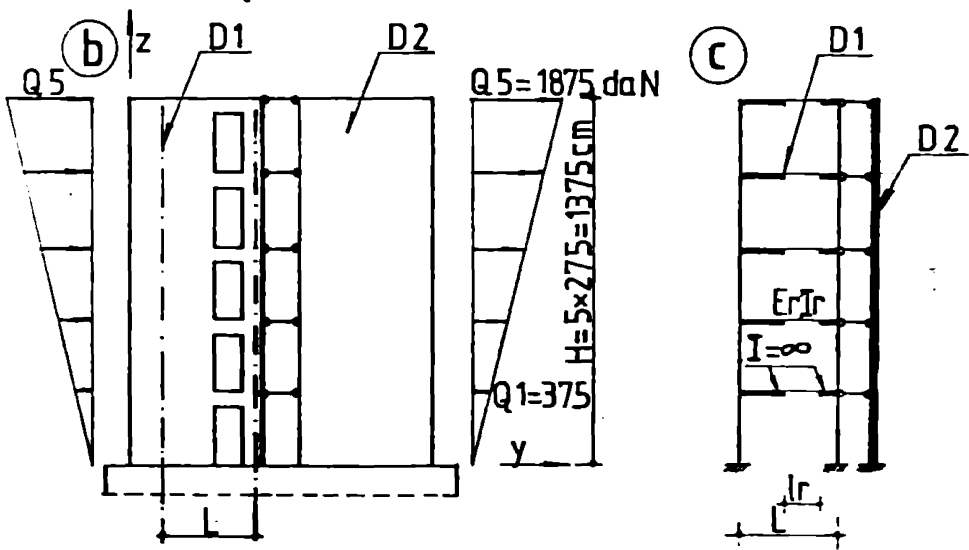
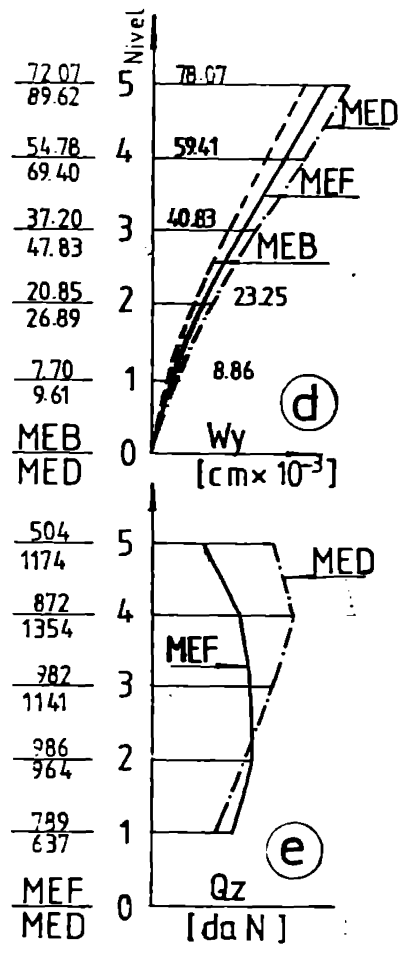


Fig. 5.46

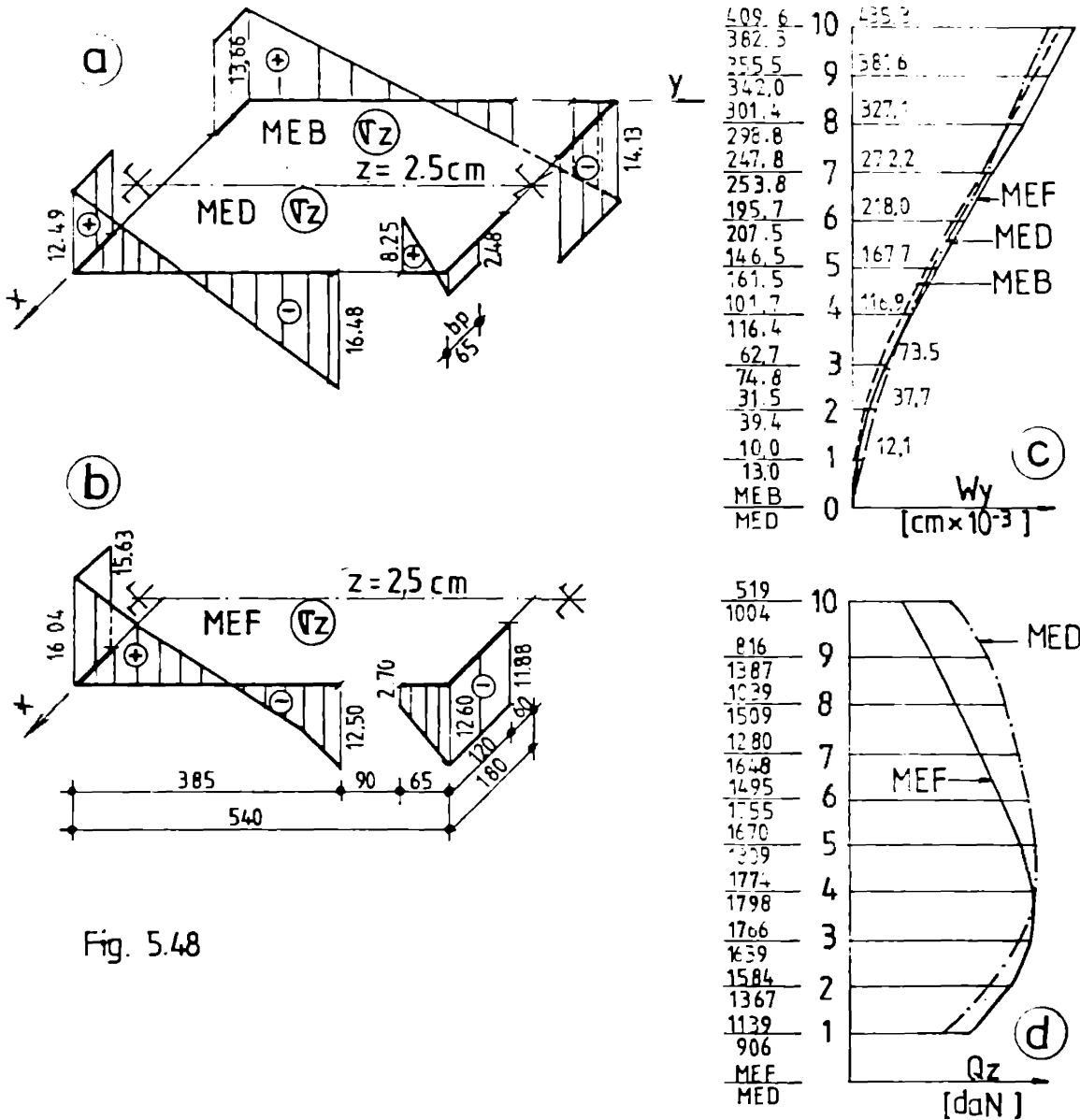


Fig. 5.48

Analizându-se rezultatele studiului, sintetizate în fig. 5.49 și 5.50, pot fi făcute următoarele constatări :

- În distribuția eforturilor unitare normale $\hat{\sigma}_z$ la baza coloanei (fig. 5.49 a,b) se remarcă concentrații mari de eforturi în zonele de colț, în cazul coloanei C.20; pentru încărcări gravitaționale ($I_p 3$) acestea ajung la două sau trei ori valorile corespunzătoare rezăării liniare; pentru încărcările seismice diferențele sînt ceva mai mici, dar semnificative. De acesta stare de eforturi se adaugă, în cazul rezăării pe colțuri, eforturile de membră rezultate din solicitarea de grindă a elementelor spațiale (5.3.1.).

- Niglele de cuplare sînt mult mai solicitate în cazul rezăării concentrate : eforturile ($Q_z, \hat{\sigma}_y$) ajung, la primele niveluri la de 3 - 4 ori mai mari decît valorile corespunzătoare rezăării liniare (fig. 5.49 c,d1, d2.).

- Lin deformația spațială a coloanei, reprezentată în fig. 5.49a, rezultă ca rigiditatea la deplasări laterale este cu circa 40% mai mare în cazul rezemării liniare (C2L), față de rezemarea pe colțuri (C2C).

- Efectul imperfecțiunii de rezemare de tip Ib.1 (nu sînt afectate zone cu goluri), se limitează la creșteri moderate a eforturilor unitare normale σ_z în pereți (la valori de max. două ori mai mari decît cele corespunzătoare coloanei etalon C2L), pe zone alăturate defectului (fig. 5.50b).

- Efectele imperfecțiunilor de rezemare de tip Ib.2 se manifestă prin :

- redistribuirea eforturilor unitare normale σ_z în pereți, pe zone care afectează înălțimea parterului, constînd în creșteri a efortului unitar σ_z pînă la valori de 3-4 ori mai mari decît cele corespunzătoare coloanei etalon C2L (fig. 5.50 b,c,d,e,f) și în schimbarea de semn (aparitia de eforturi unitare de întindere) a eforturilor în zone micișii nereșemate (fig. 5.50 g);

- creșterea importantă a eforturilor în toate rigiele de cuplare ($Q_z = \sigma_y = \tau_{yz}$) (fig. 5.50 h,i);

- apariția de eforturi unitare de grindă perete σ_x și τ_{xz} (fig. 5.50 j,k), semnificative, în secțiunea verticală ce trece prin punctul L (fig. 5.50 e) pe înălțimea parterului.

c) analiza comparativă a coloanelor cu panouri de fațadă portante (F) și de rigidizare (R).

Intrucît în sistemul de elemente spațiale denumit pînar culcat se pune în discuție comportarea panoului de fațadă ca panou portant (este îmbinat pe elementul spațial cu plăcuțe metalice sedate, distribuite pe contur și prin interior cu mortar, fig. 5.45 b, fig. 3.1), au fost studiate comparativ, o coloană etalon avînd toți pereții portanți (C3L-R) și o coloană în care panourile de fațadă au fost considerate numai de rigidizare (C3L-N). Pereții de rigidizare (nu rezemă unul peste altul în cadrul coloanei), sînt realizați cu elemente finite de umbră, iar legăturile acestora pe elementul spațial, cu bare echivalente (fig. 5.45 c, fig. 5.58).

Analizîndu-se rezultatele studiului sintetizate în fig. 5.51, pot fi făcute următoarele constatări :

- La coloana cu panouri de rigidizare (C3L-N) are loc o redistribuire a eforturilor în pereți avînd ca efecte :

- creșterea eforturilor unitare σ_z în pereții portanți (la bază, pentru încărcările gravitaționale cu circa 15-25% și pentru încărcările seismice cu la - 12%, fig. 5.51 a,b);

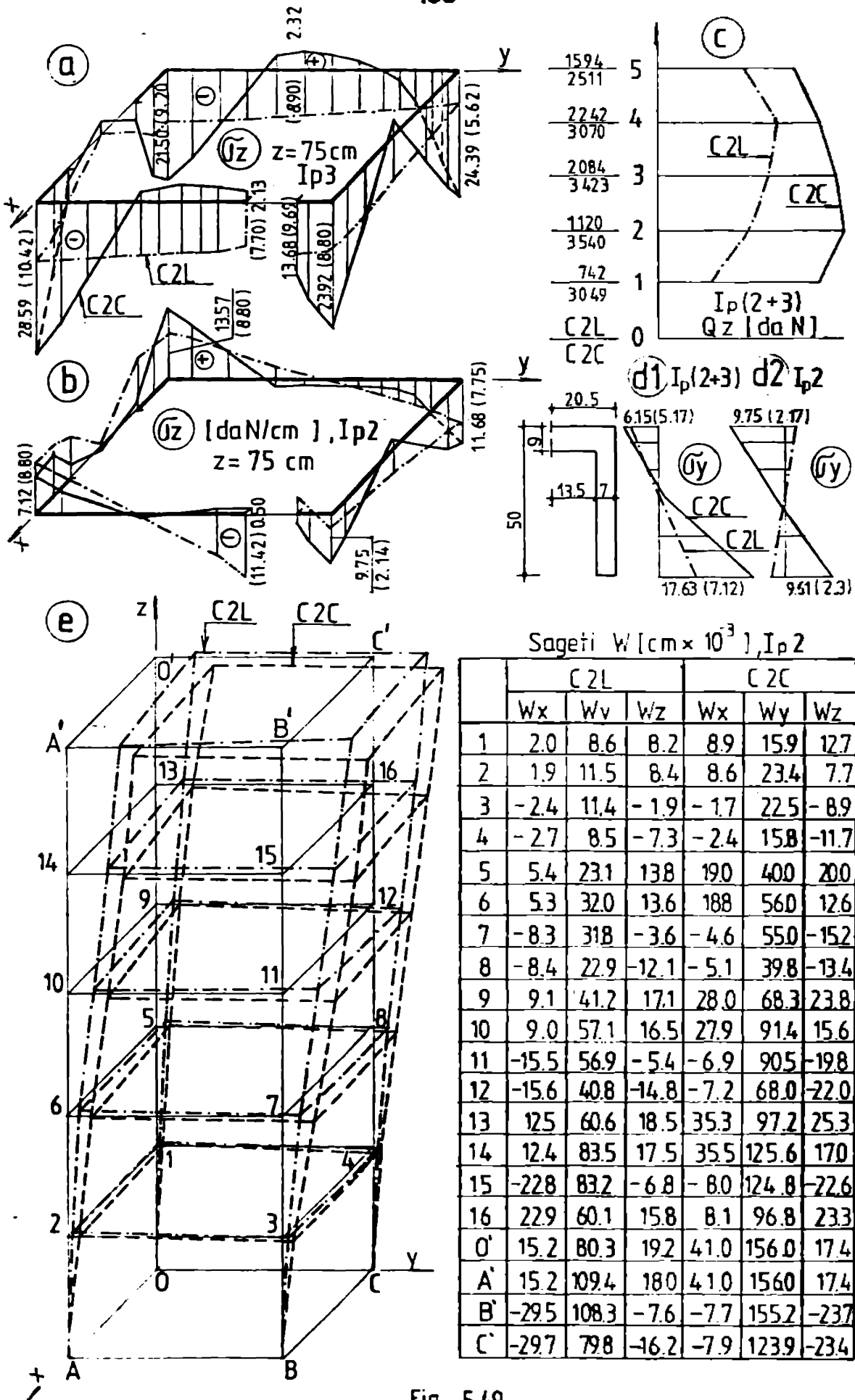


Fig. 5.49

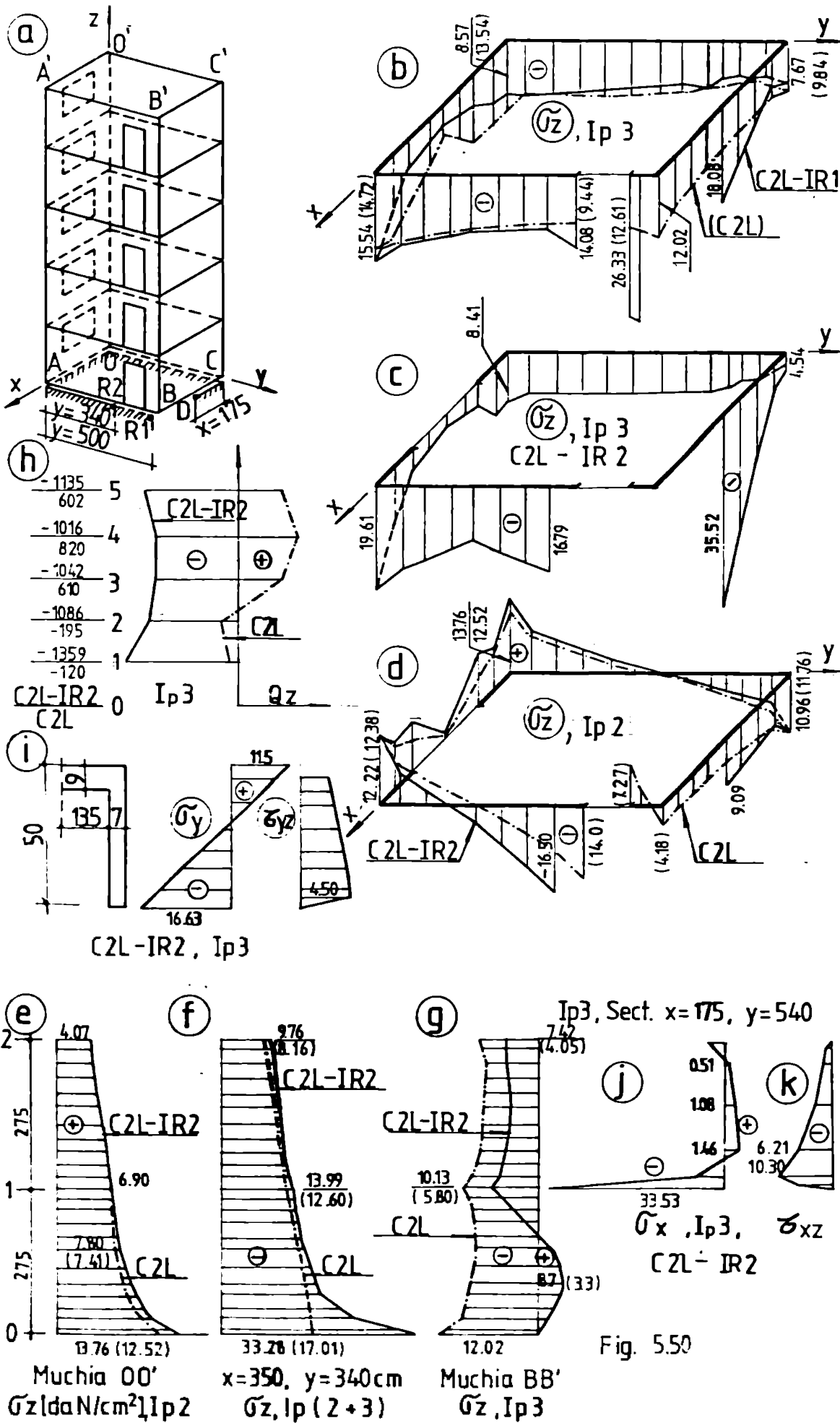


Fig. 5.50

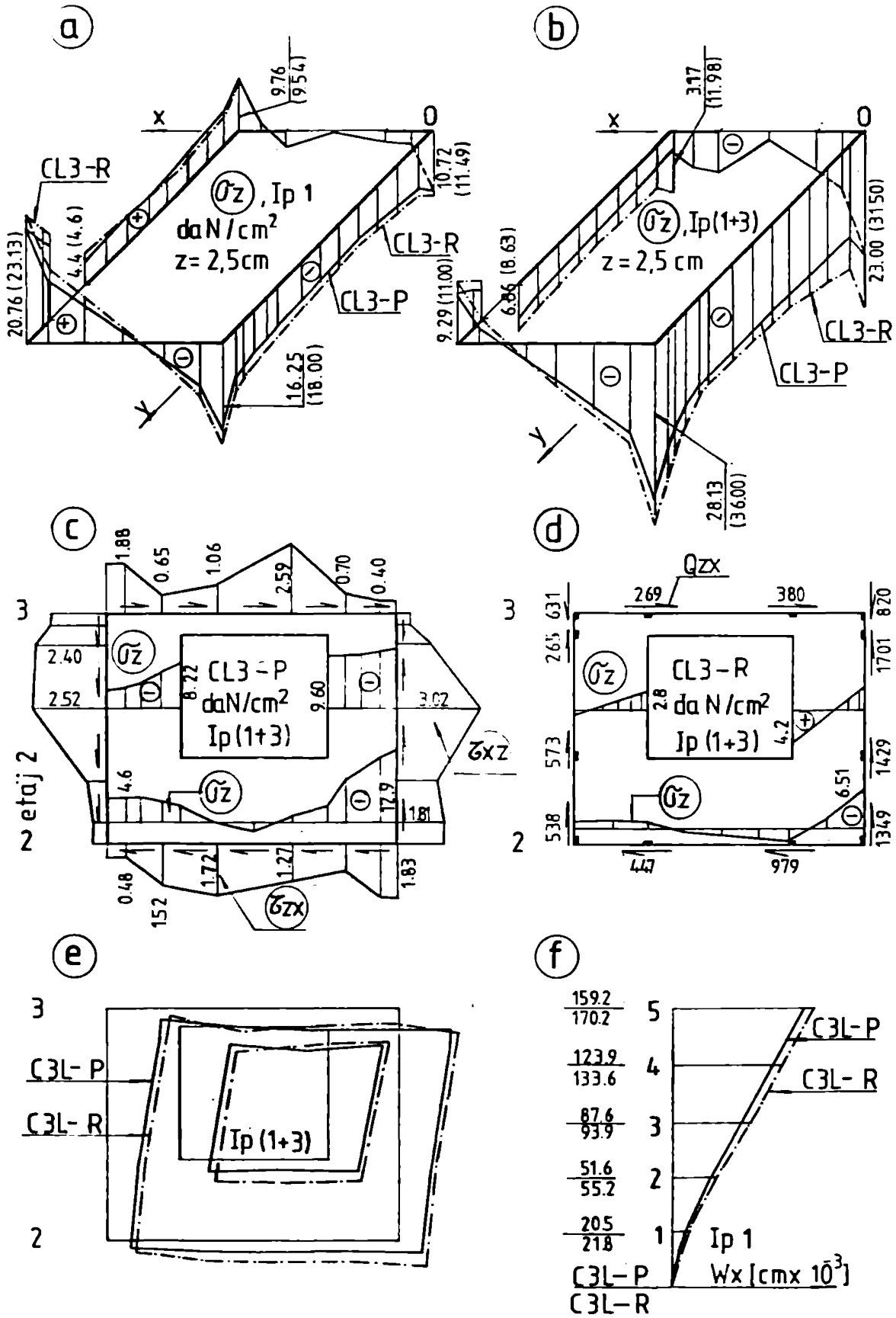


Fig. 551

Muchia 00'

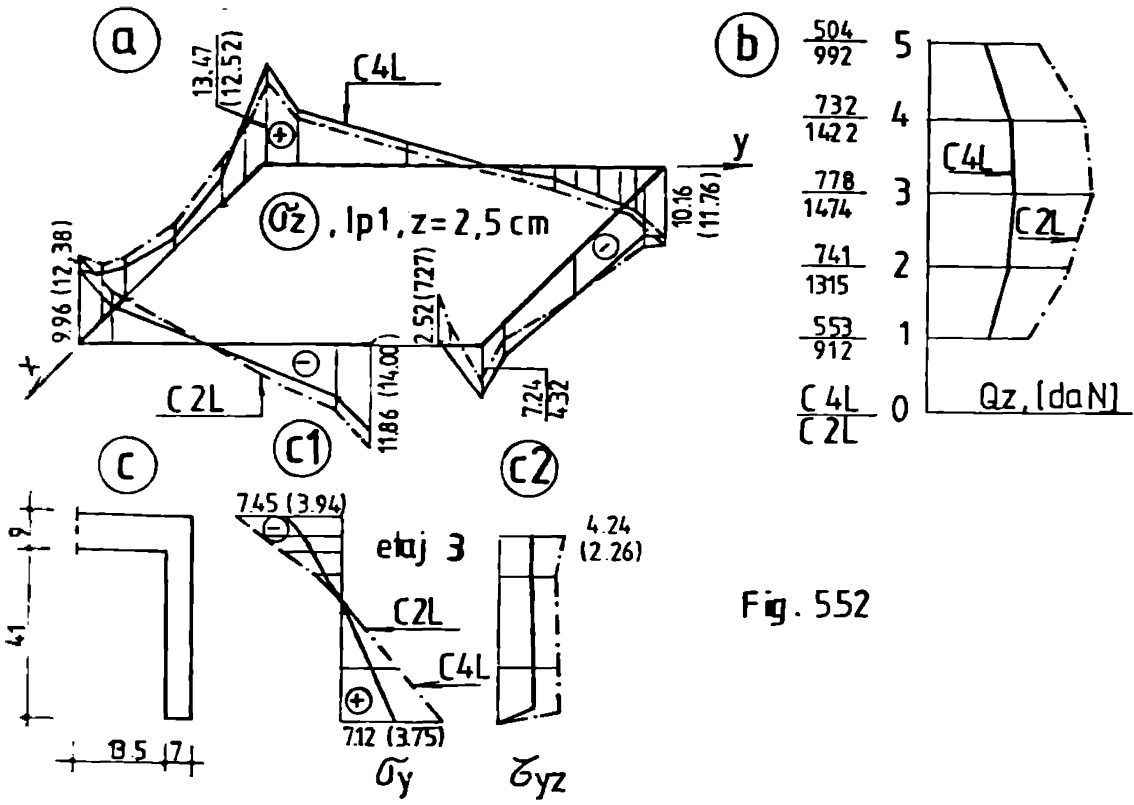


Fig. 552

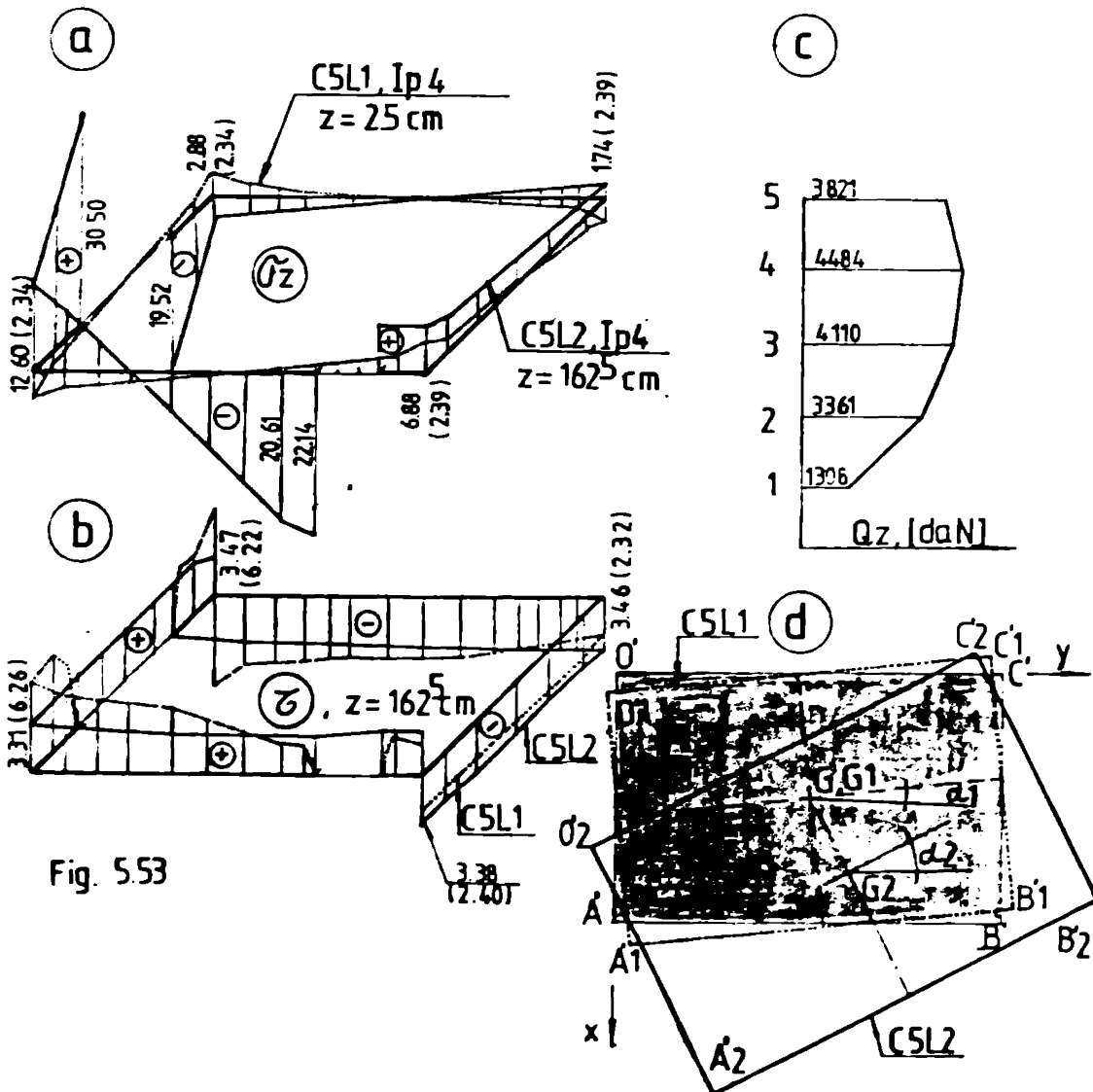


Fig. 553

- scăderea eforturilor unitare în pereții de față (fig. 5.51 e, d); forțele tăietoare în plăcuțele metalice (Q_{xz}, Q_{zx}) au valori moderate care pot fi preluate cu secțiuni de max. 2-3 cm².

- deformațiile panourilor, în cele două soluții și deplasările laterale ale coloanelor au forme, respectiv valori apropiate (fig. 5.51 e, f); rigiditatea laterală a coloanei cu panouri de rigidizare este mai mică cu cea 8% față de cea a coloanei cu panouri portante.

d) Analiza comparativă a coloanelor tratate ca făcând parte din structura clădirii (C2L) și libere (C4L).

Legăturile cu structura clădirii ale coloanei tratate ca făcând parte din aceasta, sînt modelate cu penduli indeformabili care împiedică torsiunea individuală la nivelul planșelor. Studiul s-a efectuat în ipoteza de încărcare cu forțe seismice convenționale corespunzătoare gradului 8 de protecție.

Analizîndu-se rezultatele, sintetizate în fig. 5.52, se constată cu efectele tratării coloanelor ca libere în structura clădirilor se manifestă prin :

- creșterea eforturilor unitare normale în pereți ($\tilde{\sigma}_z$); în cazul studiat, creșterea eforturilor unitare $\tilde{\sigma}_z$ la baza coloanei, este de circa 7 la 12% (fig. 5.52a);

- scăderea eforturilor în buiandrugi, în cazul studiat scăderea este de circa 40 la 50% (fig. 5.52 b, c)

e) Analiza efectului golurilor din pereți în solicitarea coloanelor la torsiune.

Seu studiat, comparativ, o coloană cu pereți plini (C5L1) și o coloană cu goluri (C5L2), solicitate de cupluri de forțe, aplicate la vîrf (fig. 5.44).

În analiza rezultatelor, sintetizate în fig. 5.53, se constată că influența golurilor în comportarea la torsiune a coloanelor se manifestă prin :

- creșterea foarte mare a eforturilor unitare normale $\tilde{\sigma}_z$, în pereți, în jurul golurilor; în cazul studiat, la baza coloanei, creșterea este de la la 15 ori (fig. 5.53 a);

- creșterea moderată a eforturilor unitare tangențiale în pereți (fig. 5.53 b).

- apariția de forțe tăietoare (Q_z) în buiandrugi, crescătoare de la parter spre ultimul nivel (fig. 5.53 c);

- creșterea semnificativă a rotirii efective a planșelor; în cazul studiat, planșeul de la ultimul nivel are rotirea efec-

tivă de circa 3 ori mai mare în cazul coloanei cu goluri cooperativ cu coloana având pereți plini.

5.4.2. Experimenturi numerice pe coloane de elemente spațiale. Seria 2.

În cercetările experimentale ale îmbinărilor structurilor din panouri mari [121, 59] și din elemente spațiale [151, 152], rezultă cu marginile (suprafețele) elementelor prefabricate în contact cu îmbinarea suferă deplasări relative (glisări) chiar și în faze de exploatare a clădirilor. Aceste deplasări conduc la discontinuități de deformare, respectiv de rigiditate, care pun în discuție ipoteza monolitizării perfecte între îmbinare și elementele prefabricate adiacente, ipoteză acceptată, în general, la calculul structurilor din elemente prefabricate (panouri mari, elemente spațiale).

În cadrul experimentărilor numerice se analizează efectul rigidității reale a îmbinărilor asupra stărilor de efort-deformație ale structurilor din pereți prefabricați. Au fost studiate două tipuri de îmbinări.

- Îmbinare tip A : îmbinare orizontală din beton armat cu bare verticale distribuite pe lungime și bare orizontale; marginile prefabricatelor sînt prevăzute cu sărgante. (îmbinare specifică structurilor din panouri mari, fig. 5.54a).

- Îmbinare tip B : îmbinare orizontală a elementelor spațiale suprapuse, prevăzută cu profiluri perimetrice care se întrepătrund, strat de mortar de poză și sărgături verticale amplasate în colțurile elementelor (fig. 5.55a). Curbele caracteristice forță tăietoare - deplasare ($T - \Delta^T$) ale îmbinărilor studiate, determinate experimental [121, 151,] sînt reprezentate în fig. 5.54 b și 5.55 b. Caracteristicile de rigiditate ale îmbinărilor sînt sintetizate prin modulul de deformare secant K_s , definit cu relația :

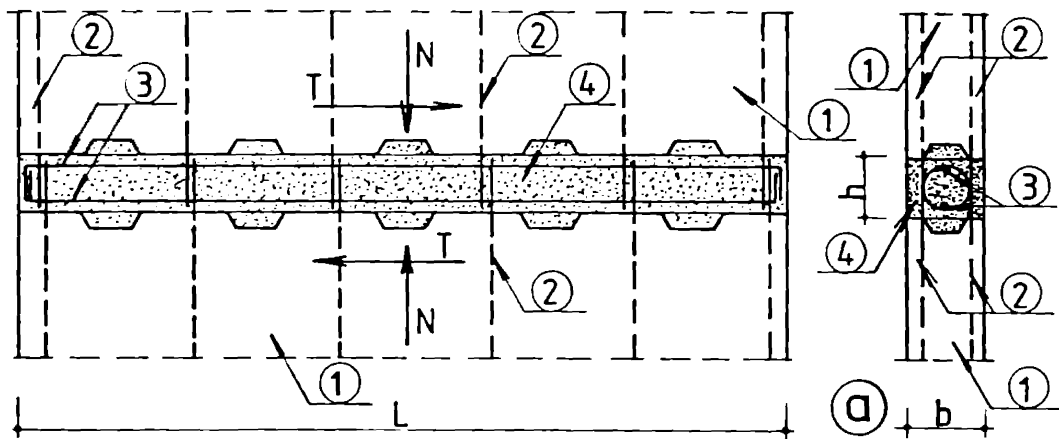
$$K_s = \frac{T}{A_T \Delta^T} = \frac{\bar{\sigma}}{\Delta^T} \quad (5.66)$$

și determinat pe curbe caracteristică ($T - \Delta^T$), în care A_T este secțiunea activă pentru calculul deformațiilor produse pe forțele tăietoare, determinată cu formule [3] .

$$A_T = \frac{bL}{k} \quad (5.67)$$

unde : b și L sînt dimensiunile secțiunii orizontale active, ale îmbinării ;

k este coeficient de formă a secțiunii (egal cu 1,2 în cazul secțiunii dreptunghiulare).



1- panouri; 2- armături verticale distribuite; 3- armături orizontale;
4- beton de monolitizare

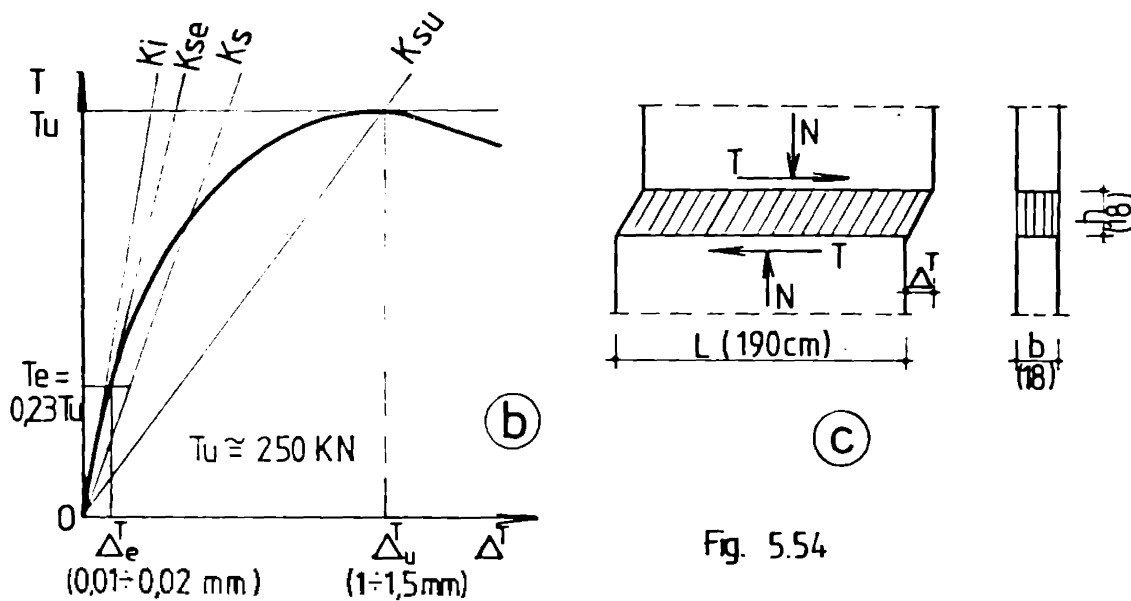


Fig. 5.54

5.4.2.1. Modelarea îmbinării.

Introducerea caracteristicilor de rigiditate ale îmbinărilor în analiza structurilor se face prin adoptarea a două modele:

a) Modelul I: materialul îmbinării este echivalent ca un material elastic, condiția de echivalență fiind egalitatea rigidității la forță tăietoare a modelului, cu rigiditatea corespunzătoare a îmbinării reale (fig. 5.54c).

Pentru îmbinarea reală deplasarea Δ^T , din forțe tăietoare (T), rezultă din (5.66):

$$\Delta^T = \frac{T}{K_S A_T} \quad (5.68)$$

Pentru model, aceeași deplasare Δ_m^T se determină cu relația (18):

$$\Delta_m^T = \frac{T}{G_e A_T} h \quad (5.69)$$

unde G_e este modulul de elasticitate transversal al materialului echivalent. Dacă secțiunile active la forță tăietoare (A_T) se iau aceleași în cazul modelului și al îmbinării reale, din egalarea expresiilor (5.68) și (5.69) se obține

$$G_e = h K_S \quad (5.70)$$

din formula cunoscută [18] .

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (5.71)$$

rezultă coeficientul de deforțare transversală a materialului elastic echivalent (μ_e).

$$\mu_e = \frac{E_e}{2 G_e} - 1 \quad (5.72)$$

Îmbinarea se modelează cu elemente finite dreptunghiulare în stare plană de eforturi, materialul fiind definit prin modulul de elasticitate longitudinal (E_e) și coeficientul de deforțare transversală, (μ_e). Modulul de elasticitate (E_e) se stabilește de regulă la valoarea corespunzătoare betonului din îmbinare (E_n).

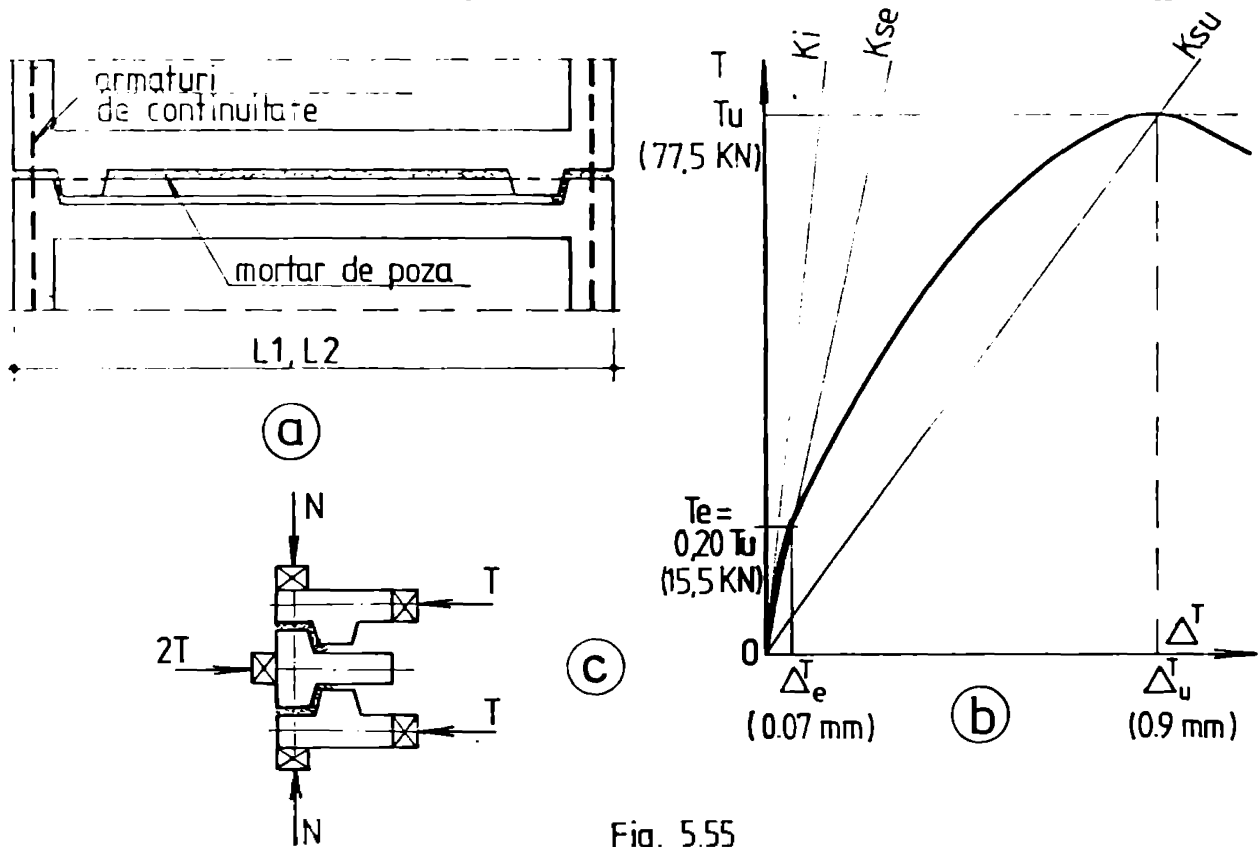


Fig. 5.55

b) Modelul 2. Îmbinarea este modelată cu noutanți și diagonale articulate de marginile elementelor prefabricate; noutanții echivalează rezistența și rigiditatea la forțe normale (N) a îmbinării reale, iar diagonalele echivalează rezistența și rigiditatea acestora la forțe tăietoare (Fig. 5.50a)

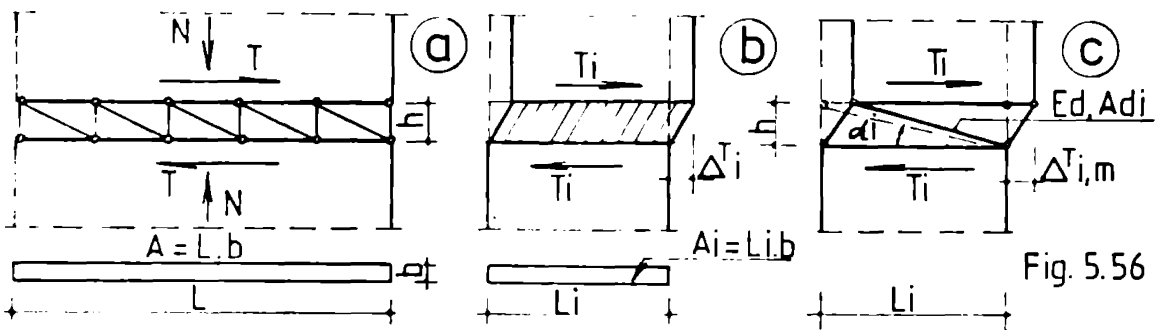


Fig. 5.56

Caracteristicile geometrice și mecanice ale diagonalelor se stabilesc din condiția de egalitate a rigidității la forțe tăietoare a modelului cu a îmbinării reale. Un panou al unei îmbinări reale, caracterizată prin modulul de deformare secant (K_s), are deplasarea din forțe tăietoare (Δ_i) (fig. 5.56 b)

$$\Delta_i = k T_i / A_i K_s \quad (5.73)$$

Modelul, reprezentat în fig. 5.56 c, are deplasarea corespunzătoare.

$$\Delta_{i,m} = T_i L_i / E_d A_{di} \cos^3 \alpha_i \quad (5.74)$$

În egalitatea ($\Delta_i = \Delta_{i,m}$) rezultă caracteristicile diagonalelor echivalente

$$E_d A_{di} = A_i L_i K_s / k \cos^3 \alpha_i \quad (5.75)$$

Îmbinările de tip A, la care armăturile verticale sînt deplasate în colțuri, sau sînt concentrate pe anumite zone, pot fi modelate după cum urmează: armăturile verticale cu montanți iar betonul cu montanți comprinși și, în plus, cu diagonale echivalente, pe zonele unde este asigurată preluarea forțelor tăietoare prin frecare, adică este îndeplinită condiția,

$$\tau \leq c_f \sigma \quad (5.76)$$

unde:

τ este efortul unitar de forfecare în secțiunea orizontală;

σ este efortul unitar de compresiune normal pe secțiunea

orizontală;

c_f este coeficientul de frecare, funcție de tipul îmbinării [16], [24], [29].

La îmbinările de tip B, armăturile concentrate în colțuri se modelează cu montanți, mortarul de piatră cu montanți comprinși și, în plus, cu diagonale echivalente pe zonele unde este asigurată preluarea eforturilor de forfecare prin frecare (5.76), iar preluarea de forfecare cu diagonale comprinse (fig. 5.56 d, fig. 5.57).

Caracteristicile diagonalei comprimate, care echivalează rigiditatea la forțe tăietoare a pragului de forfecare, se determină cu relația (5.75).

$$E_p A_{d,p} = A_p K_{s,p} L_{i,p} / \cos^3 \alpha \quad (5.77)$$

unde $K_{s,p}$ este modulul de rigiditate scosot al îmbinării de tip B, iar celelalte mărimi rezultă din fig. 5.57.

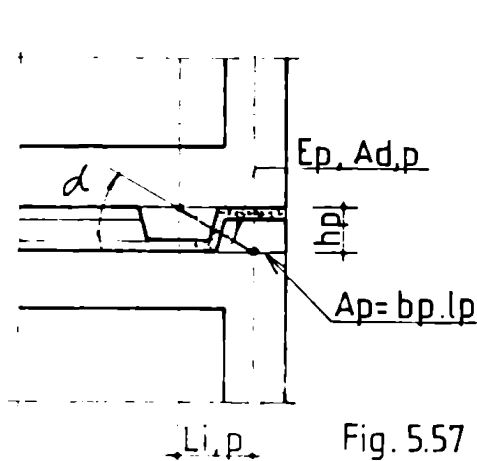


Fig. 5.57

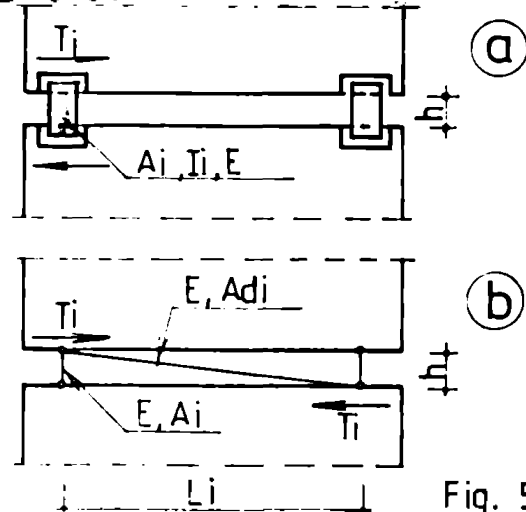


Fig. 5.58

La îmbinările de tip B nu se ia în considerare capacitatea mortarului de poză din rostul orizontal de a prelua forțe tăietoare, sau dacă aceasta nu este asigurată prin tratarea corespunzătoare a suprafețelor de beton în contact cu îmbinarea, din schemă sînt eliminate diagonalele echivalente care modelează acest efect (fig. 5.60g); întreaga forță tăietoare este preluată de profilul perimetral (bărcuțe de forfecare), modelat cu o diagonală comprimată.

Cu modelul 2 de calcul pot fi analizate îmbinările orizontale (de tip B) ale stivelor de elemente spațiale; schema îmbinării conține noutanți compriați care modelează capacitatea mortarului de poză de a prelua forțe normale de compresie și diagonalele comprimate care modelează capacitatea profilurilor perimetrice de a prelua forțe tăietoare (fig. 5.60 j).

Îmbinările cu plăcuțe metalice sudate, pot fi tratate de asemenea cu modelul 2 de calcul : capacitatea plăcuțelor de a prelua forțe axiale normale pe rost este modelată cu noutanți iar capacitatea lor de a prelua forțe tăietoare cu diagonale echivalente (fig. 5.58).

Pentru o plăcuță metalică, avînd aria secțiunii transversale A_1 și momentul de inerție al acesteia I_1 , deplasarea din forțe tăietoare (Δ_1) este

$$\Delta_1^T = T_1 \left(\frac{kh}{GA_1} + \frac{h^3}{3EI_1} \right) \quad (5.78)$$

unde G , k sînt modulii de elasticitate transversal respectiv longitudinal al oțelului, iar α este deschiderea rostului.

Aceeași deplasare ($\Delta_{i,m}^T$) determinată pe model are expresia (5.74)

$$\Delta_{i,m}^T = \frac{T_i L_i}{E A_{di} \cos^3 \alpha_i} \quad (5.79)$$

În condiția de egalitate a rigidităților la forță tăietoare a modelului cu a îmbinării reale, (respectiv a deplasărilor $\Delta_i^T = \Delta_{i,m}^T$), rezultă caracteristicile diagonalelor echivalente

$$E A_{di} = \frac{L_i}{\left(\frac{kh}{GA_i} + \frac{h^3}{3EI_i} \right) \cos^3 \alpha_i} \quad (5.80)$$

În considerația (în 5.30) că $G = 0,4 \cdot k$ și $k = 1,2$ (conținute drept-unghiulară), secțiunea diagonalei echivalente (care modelează o placă metalică) este

$$A_{di} = \frac{L_i}{\left(\frac{3h}{A_i} + \frac{h^3}{3I_i} \right) \cos^3 \alpha_i} \quad (5.81)$$

5.4.2.2. Obiectul experimentărilor numerice și rezultatele obținute.

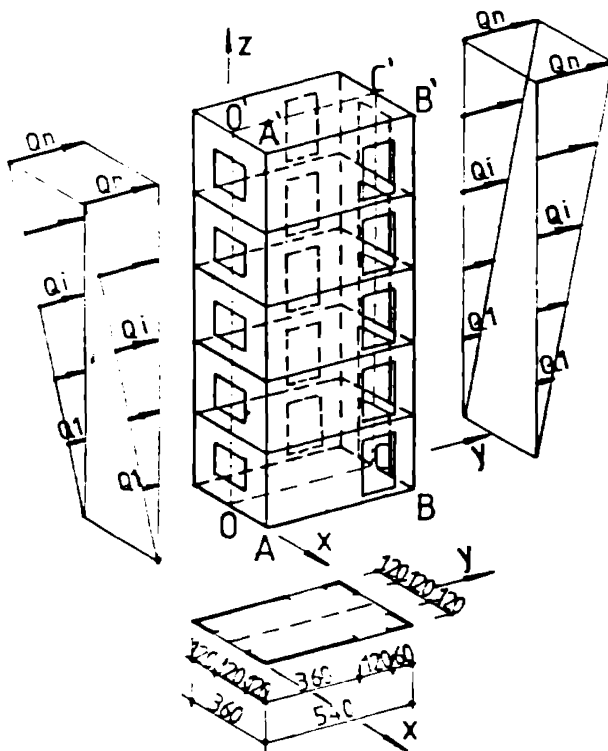
Folosindu-se modelele de calcul pentru îmbinări, prezentate, s-au efectuat experimentări numerice pe calceae cu 5 niveluri alcătuite din elemente spațiale tip A3L (5.3.1, fig. 5.16), prevăzute cu îmbinări orizontale de tip a și b (fig. 5.59). Îmbinările sînt caracterizate prin modulul de deformare secant, pentru faza de exploatare. Valorile acestuia, determinate experimental, au fost preluate din [141] pentru îmbinările de tip a și din [151] pentru îmbinările de tip b. Modulul de elasticitate longitudinal al cartuzului de poartă din rost (îmbinarea tip a) s-a considerat $\mu = 10000$ din [156]. Siglele de cuplare sînt presupuse fixate ($\mu_2 = 0,15$ ab).

Calcealele au fost analizate în trei ipoteze de încărcare :

- Ipoteza 1 : încărcări gravitaționale din greutate proprie și sarcină utilă I, gruparea fundamentală ;
- Ipoteza 2 : încărcări gravitaționale combinate cu încărcări seismice de cod aferente gradului 3,5 de protecție, în gruparea specială ;
- Ipoteza 3 : încărcări gravitaționale combinate cu încărcări seismice de cod aferente gradului 7 de protecție, în gruparea specială.

Încărcările gravitaționale, determinate ca secțiuni pe linia de rezonanță a elementului spațial și (fig. 5.1, d), au fost aplicate ca forțe concentrate în resturile orizontale ale coloanei. Încărcările seismice, distribuite triunghiular pe înălțime, au fost aplicate pe muchiile coloanelor ca forțe concentrate la nivelul planșelor de beton (fig. 5.59).

Elementele spațiale din coloane au fost modelate cu elemente finite de membrană (conform schemei de discretizare din fig. 5-45 e), iar îmbinările cu elemente finite de membrană pentru modelul 1 și cu elemente finite tip bară pentru modelul 2. La îmbinările de tip B, în cazul adoptării modelului 2, armăturile verticale au fost modelate cu bare pe toată înălțimea coloanelor.



Nomenclatorul coloanelor

Nr. crt.	Denum. coloanei	Tip îmbinare	Ipoteze de calc.	Model calc. îmb.	Modul de rigiditate îmbinare [daN/cm ³]	
					Ks	Ks,p
1	A1	A	1;2	1	—	—
2	A2	A	1;2	2	320	—
3	B1	B	1 2	1	160	1000
4	B2	B	1;2	2	160	1000
5	B3	B	2	2	160	1000
6	B4	B	2	2	160	1000
7	B5	B	2	2	—	1000
8	B6	B	2	2	—	1000
9	B7	B	3	2	—	1000

Fig. 5.59

Beton armat B 250 (clasa Bc 20)
pereti: 7 cm, planșee: 9 cm

$$Q_i = iQ_1$$

$$S = 4 \sum_1^n Q_n$$

$$S = 2n(n+1)Q_1$$

$$n = \text{nr. de niveluri}$$

S = rezult. încarc. seis. pe coloana

$$S = 15000 \text{ daN pt. grad. seis. } 8,5$$

$$S = 6.800 \text{ daN pt. grad. seis. } 7$$

Nomenclatorul coloanelor experimentate, care cuprinde denumirile coloanelor, tipul de îmbinare folosit pentru flexare coloană, ipotezele de încărcare, modelul adoptat pentru schematizarea îmbi-

nării între elementele suprapuse și modulul de rigiditate secant al îmbinării, pentru faza de exploatare, este prezentat în fig. 5.59).

Se prezintă în continuare obiectul experimentarilor numerice și rezultatele obținute, sintetizate în fig. 5.60 la 5.66.

a) Compararea modelelor 1 și 2 de schematizare a îmbinărilor.

În analiza comparativă a rezultatelor obținute pe coloana B.1 (model 1) și pe coloana B.2 (model 2), (fig. 5.60 b,c), rezultă că distribuțiile eforturilor unitare $\bar{\sigma}_z$ și $\bar{\tau}$ în pereți, la bază, sînt foarte apropiate pentru cele două coloane; se remarcă concentrarea eforturilor axiale în arăturile verticale modelate cu bare. Deplasările coloanelor, pentru aceeași ipoteză de încărcare, sînt aproape identice. Se poate face, deci, constatarea, că prin analiza coloanelor, cu folosirea modelelor 1 și 2 de schematizare a îmbinărilor, se ajunge practic la aceeași stări de eforturi și deformări.

Modelul 2 are încă avantajul că, prin folosirea lui, se pot determina comportarea și stările de efort-deformație, în faza de exploatare, ale coloanelor din elemente spațiale prevăzute cu îmbinări de tip B, precum și ale stivelor din elemente spațiale.

b) Determinarea comportării și a stărilor de efort-deformație în faza de exploatare, ale coloanelor de elemente spațiale prevăzute cu îmbinări de tip B. Calculul se face pe etape, pornind de la modelarea îmbinărilor cu schemă din fig. 5.60 a (Coloana B.2). În etape următoare se anulează rigiditățile montanților cu eforturi de întindere care modelează stratul de mortar de poză și ale diagonalelor echivalente situate în afara zonei de preluare a forțelor tăietoare prin frecare; se ajunge la coloana B.4 (fig. 5.60 d,e,f). Dacă se consideră că forțele tăietoare sînt preluate numai de profilurile perimetrice, se ajunge la coloana B.5 (fig. 5.60 g,h,i). Starea de efort-deformație a coloanei B.4, în rosturile orizontale, pentru încărcări corespunzătoare fazei de exploatare (I_2), în stadiul elastic, este caracterizată prin :

- delimitarea zonelor comprimate și a celor care preiau eforturi tangențiale prin frecare;
 - eforturi normale pe secțiuni orizontale concentrate în arăturile verticale și distribuite pe zone comprimate, ca în fig. 5.60 e;
 - forțe orizontale concentrate în profilele perimetrice și distribuite pe zone cu frecare, ca în fig. 5.60 f;
 - deplasări orizontale cu glisări în rosturi (fig. 5.65 b).
- Prezarea întregii forțe tăietoare la profilele perimetrice

(coloana B.5), are următoarele efecte :

- . reducerea zonelor comprimate în secțiunea orizontală ;
- . redistribuirea eforturilor normale pe secțiune, creșterea eforturilor unitare σ_z mai ales în zona golurilor (cu circa 9% în cazul concret studiat) (fig. 5.60 h);
- . creșterea eforturilor unitare în riglele de cuplare ;
- . creșterea deplasărilor laterale (cu circa 36% în cazul concret studiat).

c) Determinarea comportării și a stărilor de efort-deformație, în fază de exploatare, ale stivelor de elemente spațiale. Analiza este efectuată în etape succesive în care sînt evaluate rigiditățile montanților, avînd eforturi de întindere. Plecînd de la coloana B.5 se ajunge la stiva B.6 (fig. 5.60 j,k,l). Comportarea stivei B.6, în stadiul elastic, la încărcări gravitaționale combinate cu încărcări seismice de cod corespunzătoare gradului 3,5 de protecție și starea globală de efort-deformație, sînt caracterizate prin :

- . ridicarea pereților în primul rest orizontal de la bază în „zona întinsă”. (În cazul concret studiat ridicarea pereților A A' B B' s-a făcut pe o lungime de 120 cm) (fig. 5.64);
- . reducerea zonelor comprimate și creșterea eforturilor unitare σ_z pe aceste zone comparativ cu coloana B.5 (cu circa 10%), (fig. 5.60 h,k);
- . înregistrarea unor glisări în resturile orizontale, crescătoare de la vîrfurile stivei spre bază (fig. 5.64);
- . creșterea eforturilor în riglele de cuplare cu circa 7-8%, față de coloana B.5;

. asigurarea stabilității de poziție a elementelor spațiale în stivă; în cazul studiat elementul spațial de la parter are un coeficient de stabilitate σ_g , exprimat ca raport între momentul de stabilitate (M_g) și momentul de răsturnare (M_r), de 4,14 (fig.5.66).

Comportarea indicată este condiționată de asigurarea ca riglele de cuplare nu ies din lucru la starea de încărcare analizată ; respectarea condiției implică asigurarea unor secțiuni transversale și a unor procente de armare, longitudinală (p) și transversală (p_e), corespunzătoare. (Pentru secțiunea adoptată (fig. 5.62), acest lucru este posibil prin prevederea unor carcasa de armare a riglelor, din oțel PC.52, formate din armături longitudinale, cu $p \geq 1\%$ și strieri cu $p_e \geq 0,35\%$).

Pe stive B.7 s-a analizat starea de eforturi rezultate din încărcarea cu sarcini gravitaționale și seismice convenționale corespunzătoare gradului de protecție 7. Din distribuția eforturilor unitare normale σ_z , la baza stivei, rezultă că nu apar întinderi; întreg

secțiune orizontală este comprimată (fig. 5.61 g).

d) Determinarea efectelor rigidităților reale ale îmbinărilor asupra stărilor de eforturi și deformații ale coloanelor comparativ cu ipoteza monolitismului perfect.

Am fost studiate comparativ, coloana etalon A.1 (tratăată în ipoteza monolitismului), cu coloana A.2 (prevăzută cu îmbinări de tip A), coloanele B.4, B.5 (prevăzute cu îmbinări de tip B), și stive B.6. Din analiza rezultatelor, sintetizate în fig. 5.60 la 5.66, se constată că principalele efecte ale considerării în calcul a rigidităților reale ale îmbinărilor, comparativ cu ipoteza monolitismului, sînt :

.înregistrarea, în deformațiile coloanelor, a unor „glisări” în rosturile orizontale (fig. 5.63, 5.64, 5.65); aceste glisări cresc dinspre vîrf spre bază și sînt mai mari (cu cea 60%) în cazul coloanelor B față de coloana A (fig. 5.63, 5.64, 5.65);

.obținerea unor deplasări laterale mai mari; la vîrfurile coloanelor acestea sînt mai mari, cu cea 29% la coloana A.2, cu 34% la coloana B.5 și cu 97% la stive B.6 (față de cele corespunzătoare ale coloanei etalon A.1 (fig. 5.63, 5.64, 5.65);

.redistribuirea eforturilor unitare normale în secțiunile orizontale ale pereților; în secțiunea de la baza coloanelor, valorile maxime ale acestora diferă cu 5-10% la coloana A.2 și cu 10-15% la coloanele B.5, B.6, față de cele corespunzătoare ale coloanei etalon A.1 (fig. 5.60, 5.61);

.înregistrarea unor creșteri a eforturilor în riglele de cuplare; acestea sînt mai mari cu 15-20% la coloana A.2 și cu 20-75% la coloanele B.5, B.6 față de cele corespunzătoare ale coloanei etalon A.1 (fig. 5.62).

e) Din analiza rezultatelor experimentărilor numerice mai pot fi făcute câteva constatări :

. În cazul coloanelor de elemente spațiale analizate, distribuția eforturilor unitare în secțiunile orizontale ale pereților, rezultată din încălzirile gravitaționale (greutate proprie și sarcină utilă), indică participarea întregii secțiuni la preluarea acestor eforturi (fig. 5.49a, 5.50 b, 5.61 e) Distribuția eforturilor unitare normale în zonele comprimăte, rezultată din încălzirile gravitaționale combinate cu încălziri seismice, indică contribuția pereților longitudinali (inimă) cu pereții transversali (talpa) pe toată secțiunea acestora din urmă (fig. 5.51 a, b, 5.53 a, 5.61 b, d, 5.66) Unul din cazurile analizate se referă la un montanț în formă de L avînd înălțimea inimii $h_1 = 60$ cm, lățimea tălpii $b_p = 100$ cm, grosimea

tălpii $b_p = 7$ cm și înălțimea totală (a construcției) $H = 1375$ cm (de aici $b_v = 3 b_1$, $b_p = 0,13 H$, $b_p = 25 b_1$), la care se constată concurența inițială cu talpa pe toată secțiunea acesteia. De altfel asemenea rezultate sînt confirmate și de experimentările de laborator, efectuate recent la IIRMC, privind lățimea activă a tălpilor la diafragmele de beton armat [55].

. În cazul rezemării liniare a elementelor spațiale, tratate separat, din încărcările gravitaționale direct aplicate, rezultă o distribuție neuniformă a reacțiunilor cu descărcarea colțurilor (fig. 5.19 e,d). Urmare încărcării coloanelor cu reacțiunile pe liniile de rezemare a elementelor spațiale, diagrame eforturilor unitare normale la bază indică o uniformizare a distribuției, cu ușoare concentrări în zonele alăturate golurilor și pe colțuri.

5.4.3. Concluzii rezultate din experimentările numerice pe colose.

a) Referitor la modelul de calcul.

Dintre modelele de calcul analizate - MSB, MBD și MSF - singurul care evidențiază corect și complet stările de efort-deformație ale structurilor din elemente spațiale, în stadiul elastic, este modelul de calcul cu elemente finite MSF. El asigură posibilități de analiză detaliată a concentrărilor de eforturi în zonele de rezemare, sau slabite de goluri și asociat cu luarea în considerare a caracteristicilor reale de rezistență și rigiditate ale îmbinărilor, conduce la cunoașterea efectelor acestora asupra stărilor de efort-deformație ale coloanelor, stivelor și structurilor din elemente spațiale.

b) Referitor la model de rezemare a elementelor spațiale.

Rezemarea liniară pune în valoare capacitatea portantă a pereților, se impun însă măsuri constructive și tehnologice severe, pentru realizarea corectă a acestora și de evitare a rezemărilor concentrate accidentale precum și a imperfecțiunilor de rezemare de tip IR2 (care afectează pereți cu goluri).

Soluțiile de rezemare concentrată sînt mai ușor de realizat și controlat, dar conduc la creșteri mari de eforturi în zonele de rezemare și la eforturi suplimentare, semnificative, în bușnăgi, pereți și planșee, din sollicitarea de grindă a elementelor spațiale.

c) Referitor la panourile de fațadă cu rol de rigidizare.

În cazul adoptării soluției de îmbinare a panoului de fațadă

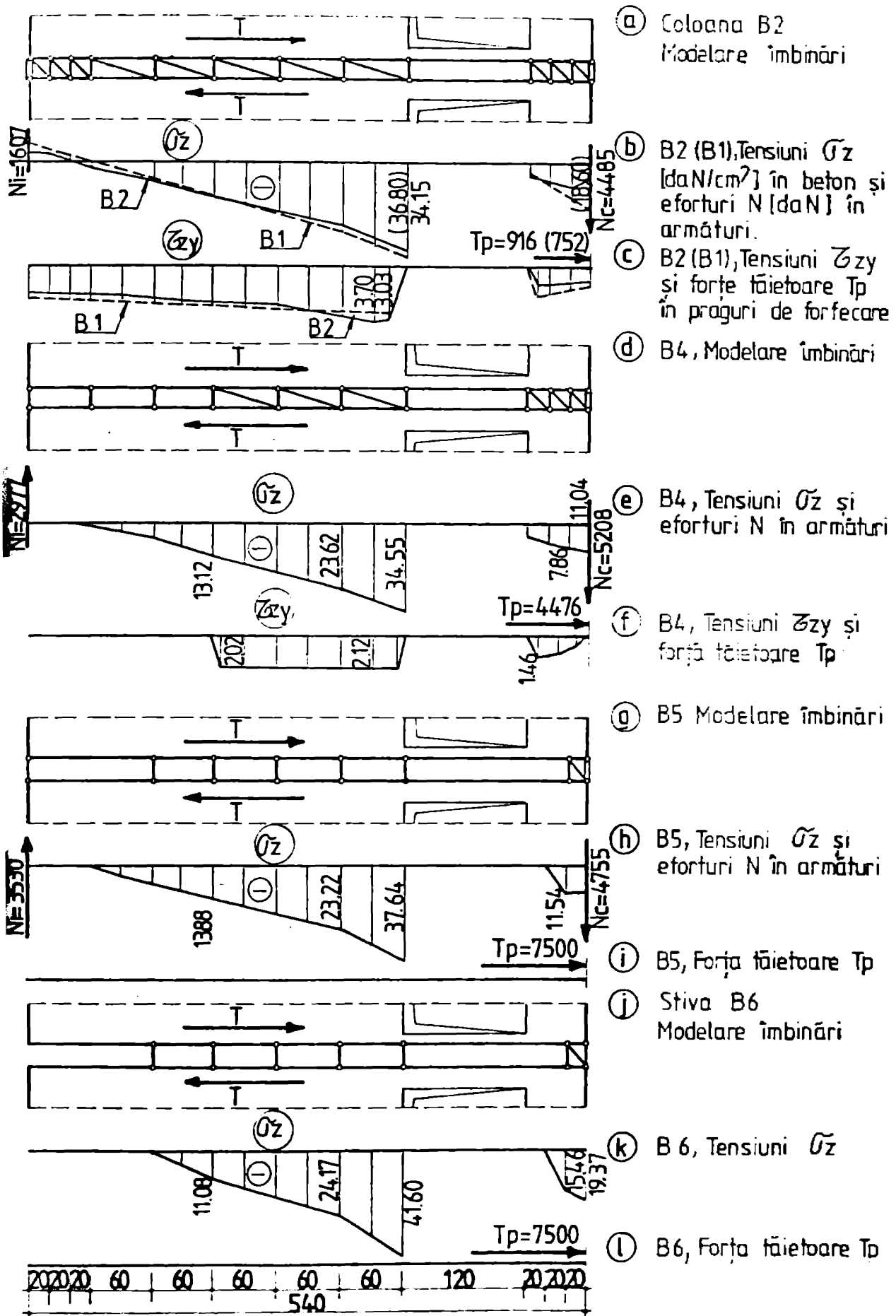


Fig. 5.60 MODELARE IMBINARI ORIZONTALE SI EFORTURI LA BAZA PERETELUI AA'B'B AFERENT COLOANELOR B₁...B₆

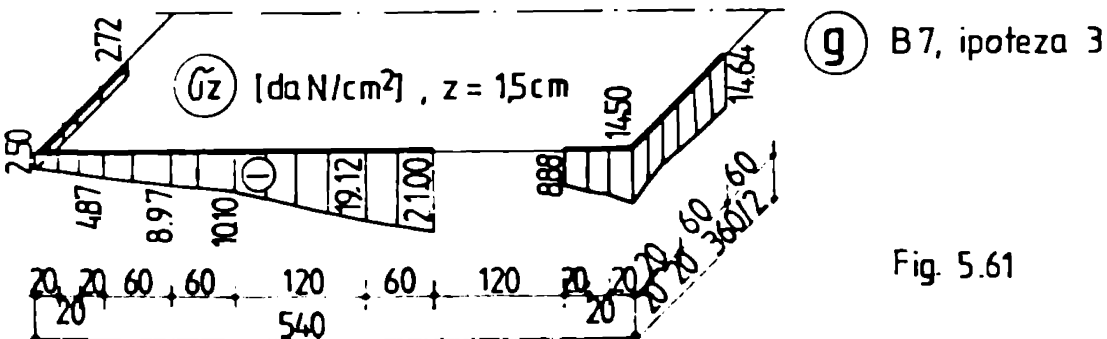
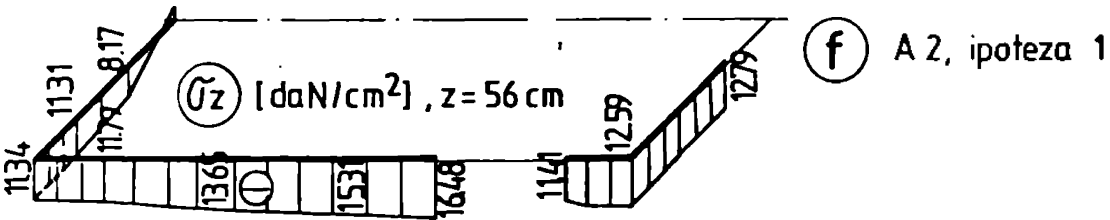
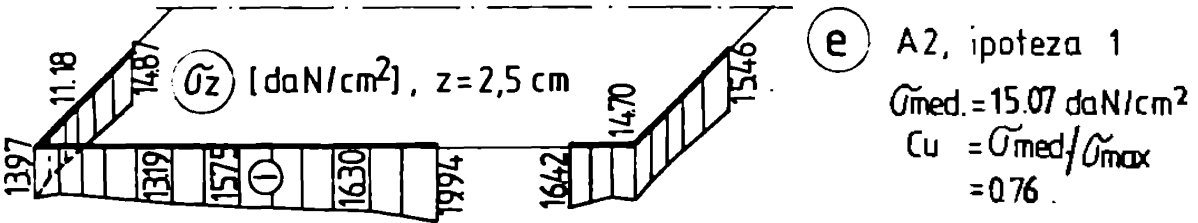
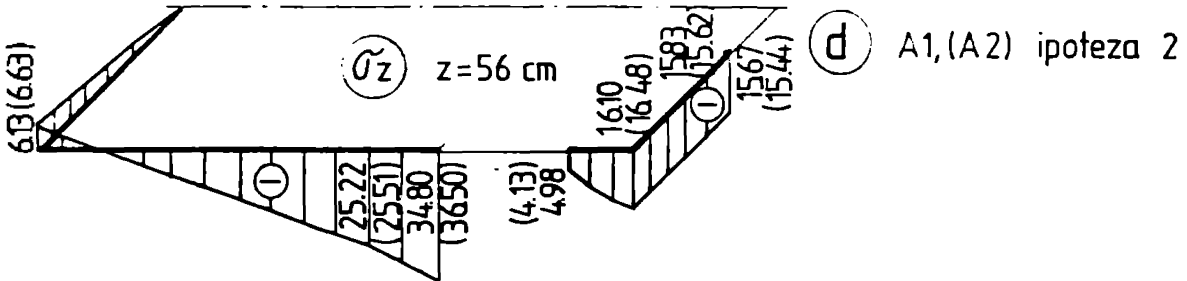
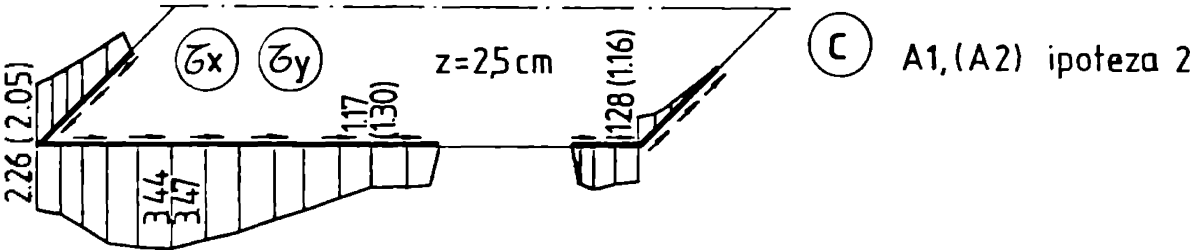
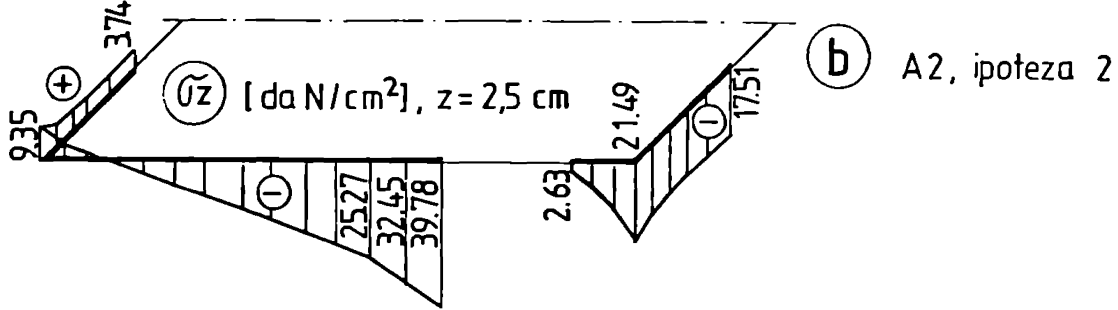
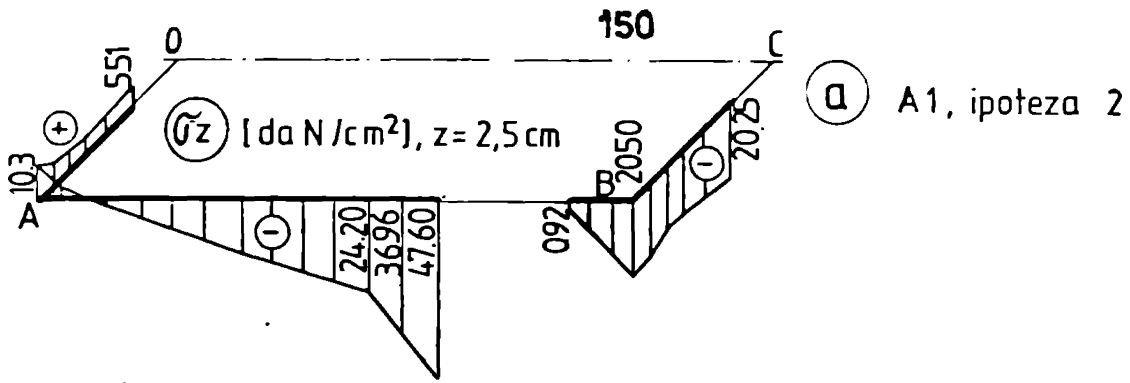


Fig. 5.61

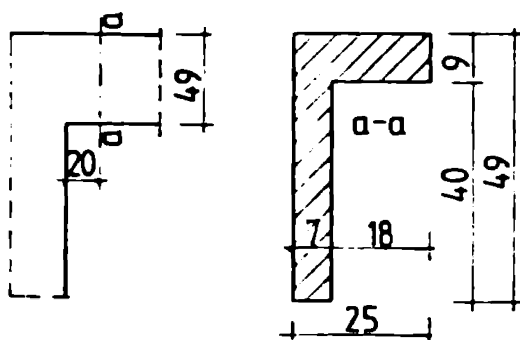
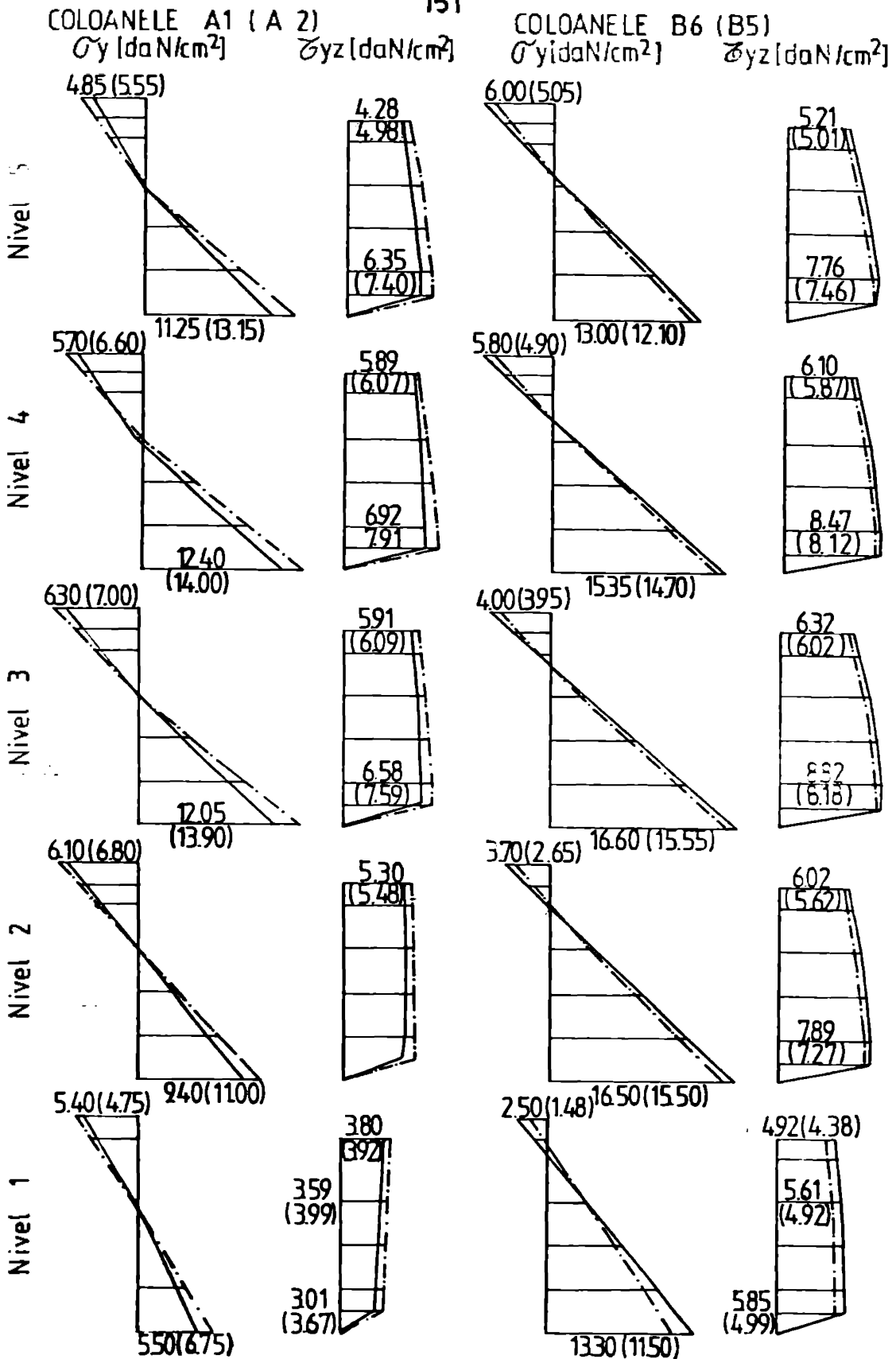


Fig. 5.62
Tensiuni σ_y si τ_{yz} in
buiandrugii coloanelor
A1, A2, B5, B6

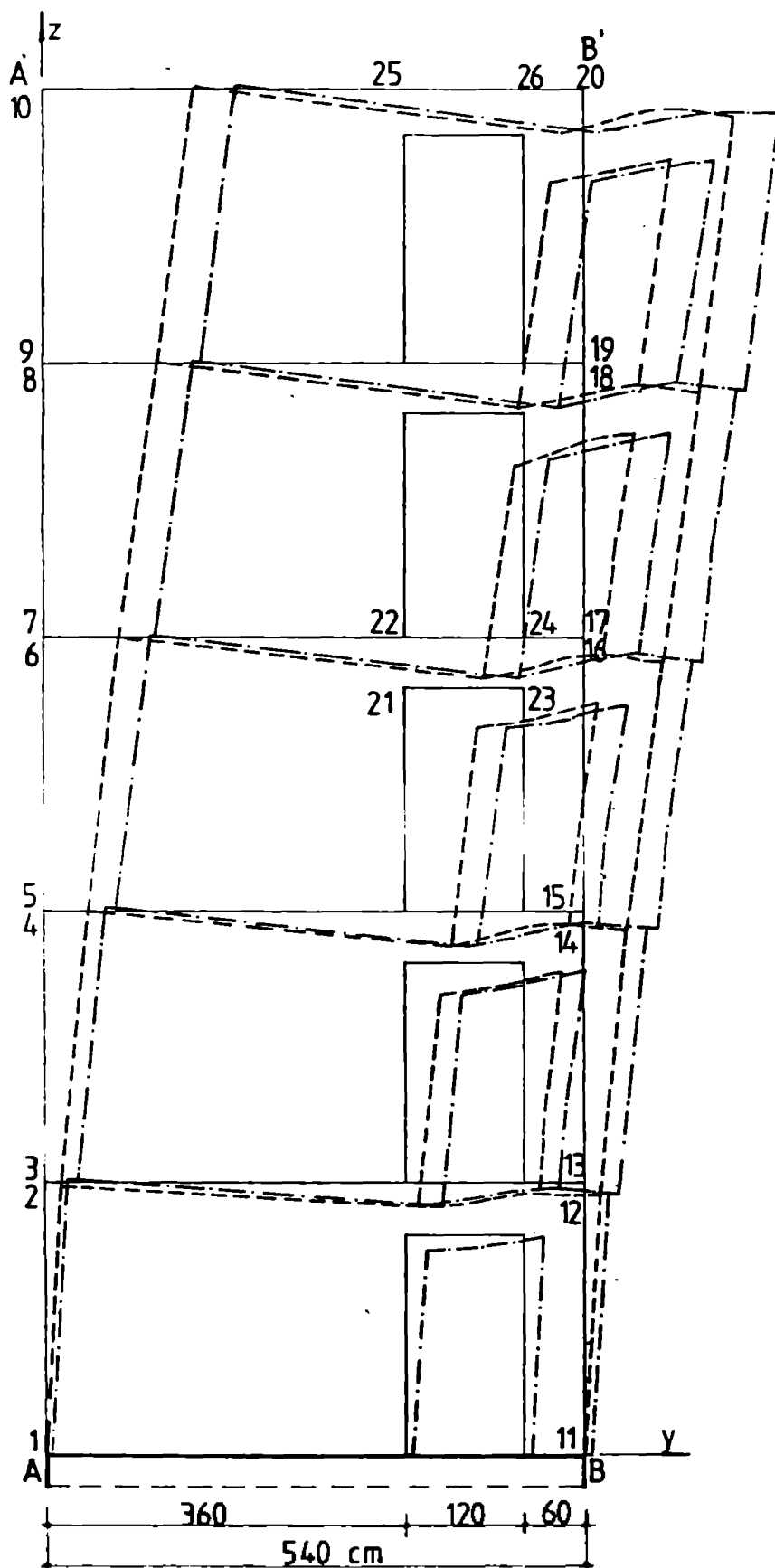


Fig. 5.63

Deformatele peretelui AÁBB al coloanelor A1 (linie întreruptă) și A2 (linie punctată) în ipoteza 2' de încărcare.

Deplasări ($\frac{A_1}{A_2}$) [$\text{cm} \times 10^3$]

Pt	Wy	Wz
1	0.0	00
	16.3	02
2	20.9	4.6
	38.4	5.0
3	20.9	4.6
	53.8	5.0
4	62.6	5.7
	96.8	6.2
5	62.6	5.7
	110.1	6.2
6	115.0	4.8
	163.8	5.3
7	115.0	4.8
	173.0	5.3
8	171.4	3.2
	231.4	3.6
9	171.4	3.2
	237.1	3.6
10	226.5	2.8
	292.9	3.1
11	0.0	0.0
	16.9	-0.4
12	21.6	-1.52
	40.0	-1.54
13	21.6	-1.52
	54.4	-1.57
14	63.2	-2.74
	98.3	-2.74
15	63.2	-2.74
	110.6	-2.76
16	115.5	-3.63
	165.0	-3.62
17	115.5	-3.63
	174.3	-3.64
18	171.8	-4.18
	231.9	-4.17
19	171.8	-4.18
	237.3	-4.18
20	226.1	4.28
	292.6	4.25
21	107.2	-60.4
	155.4	-61.5
22	115.0	-61.8
	162.5	-62.7
23	108.1	-24.3
	156.9	-23.7
24	114.5	-26.3
	162.4	-26.0
25	223.8	-65.4
	289.7	-66.5
26	222.9	-34.7
	289.6	-34.2

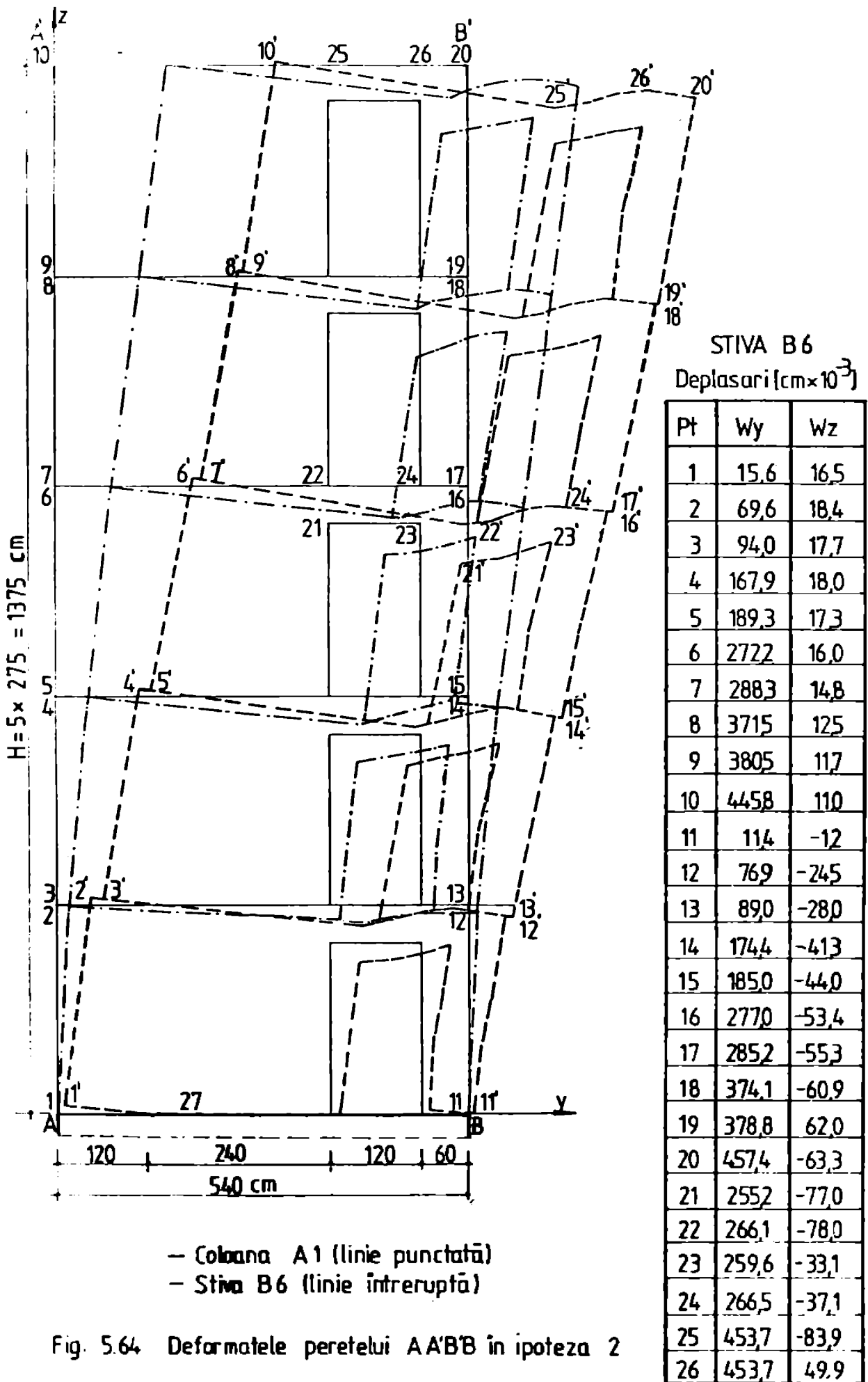


Fig. 5.64 Deformatele peretelui A'A'B'B în ipoteza 2

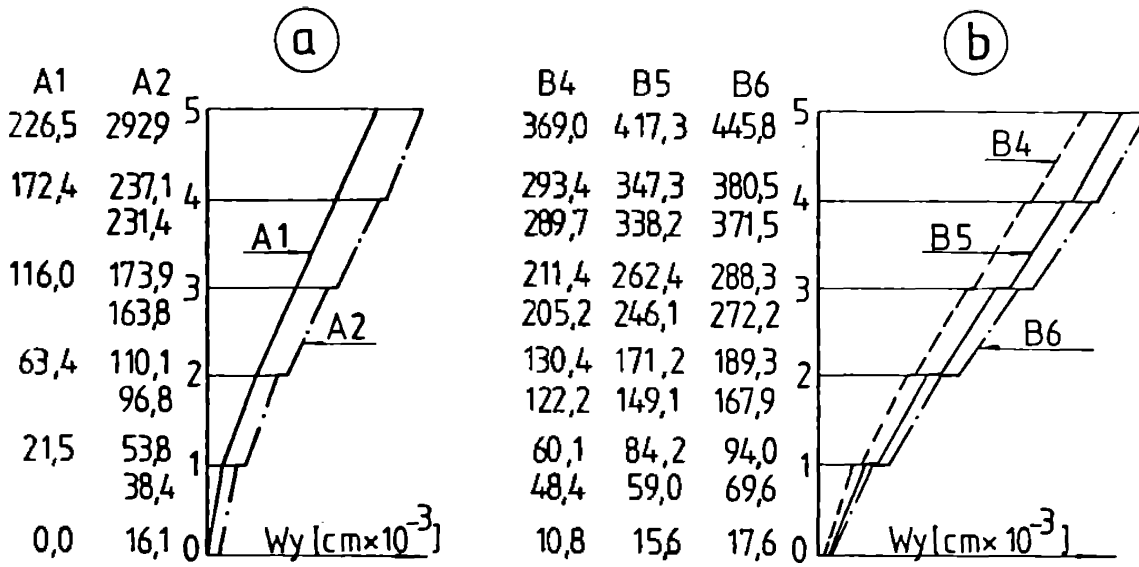


Fig. 5.65 Deplasări laterale ale muchiei AA' în ipoteza 2 de încărcare, coloanele A1, A2, B4, B5, B6

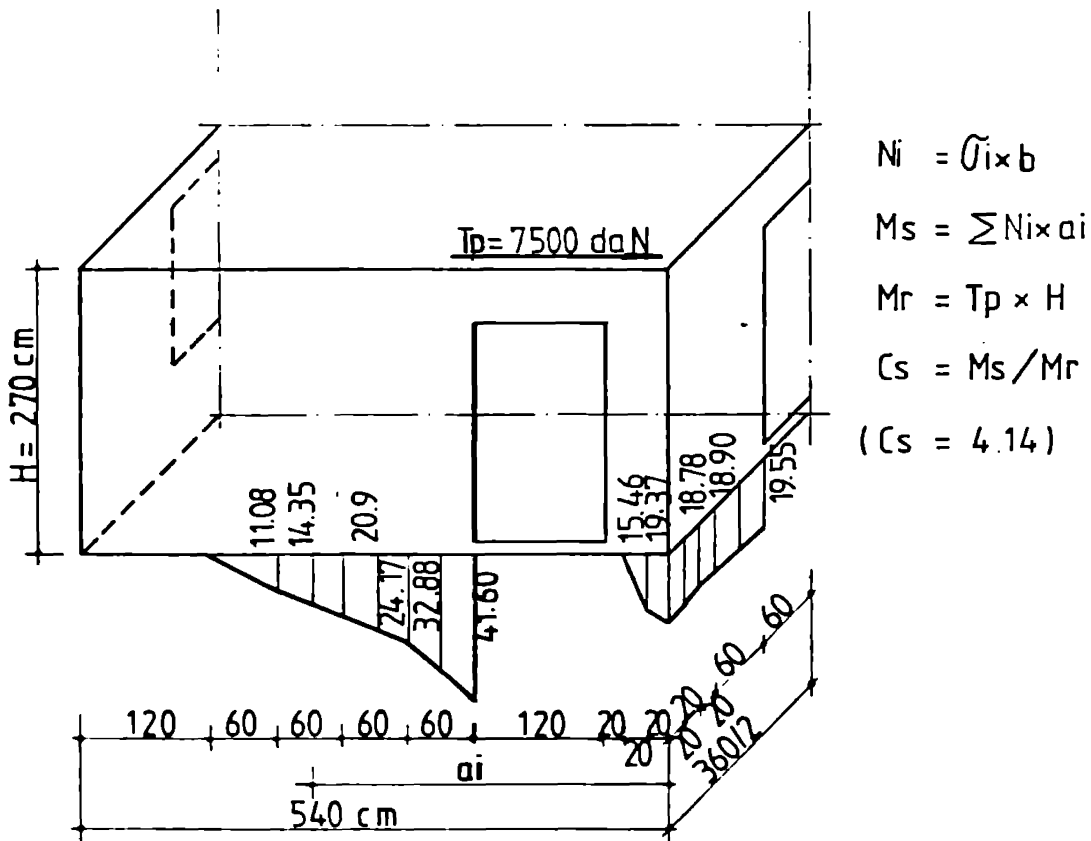


Fig. 5.66 Schemă de verificare a stabilității de poziție a elementelor spațiale în stivă (B6)

dă, pe elementul spațial, cu plăcuțe metalice sudate, distribuite pe centur și netate cu mortar de ciment, comportarea acestuia ca panou portant este incertă și se ia în considerare în calcul cu rol de rigidizare, conform modelării din fig. 5.45c.

d. Referitor la luarea în considerare în calcul a caracteristicilor de rigiditate reale ale îmbinărilor, cooperativ cu ipoteza monolitismului.

Îmbinările elementelor prefabricate constituie discontinuități de rigiditate în structură. Efectele principale ale considerării în calcul a rigidităților reale ale îmbinărilor, cooperativ cu ipoteza monolitismului sînt : scăderea rigidității globale a structurii (în cazul coloanelor de elemente spațiale, cu 20-30% pentru îmbinări de tip A și cu 40 - 50% pentru îmbinări de tip B), creșterea eforturilor în buiandrugi și redistribuirea eforturilor în elementele verticale.

e) Referitor la comportarea în stadiul de exploatare a coloanelor și stivelor de elemente spațiale.

În cazul îmbinărilor de tip B, cu asigurarea preluării forțelor tăietoare orizontale prin frecare și profile perimetrice, comportarea coloanelor de elemente spațiale este caracterizată în principal, prin înregistrarea unor „glisări” în rosturile orizontale și existența în aceste rosturi a unor zone fără efort ; în plus, din analiza comportării stivelor se remarcă „ridicarea” pereților în unele zone ale rosturilor orizontale. Din studiile efectuate, rezultă că în zone seismice de gradul 7, pot fi prevăzute construcții cu structuri din stive de elemente spațiale legate între ele cu plăcuțe metalice sudate la nivelul planșelor de tavan.

5.5. EXEMPLE LA CALCUL, COMPARĂRII METODELOR - SF, TMIIFP - SF.

În vederea efectuării unor comparații între metodele de calcul LHOZLOV și TMIIFP cu metode elementelor finite, aplicată prin modelul SF (5.1.2, 5.4.1), în continuare se prezintă două exemple de calcul.

5.5.1. Exemplul de calcul nr. 1 comparație LHOZLOV - SF

Structura cu 1. niveluri alcătuită din două coloane de elemente spațiale conectate între ele, la nivelul planșelor, cu legături deflexibile (fig.5.67 a).

Coloane S.1 : beton armat B.500 , $\rho = 25 \text{ kg/m}^3$

pereți interiori : 12 cm; pereți de fațadă : 12 cm b.e.,

10 cm. vată minerală, 5 cm. b.s.; plășe curente 12 x 9 cm,
 $S_1 = 36 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$; $I_1 = 0,20 \text{ m}^4$; $E_1 I_1 = 295,2 \times 10^6 \text{ KN m}^2$.

Coloane S.2 : beton armat cu agr. ușoare h.300, $\rho = 18 \text{ KN/m}^3$

pereți interiori : 7 cm; pereți de fațadă : 7 cm b.s., 10 cm. vată
 minerală, 5 cm. b.s.; plășe curente : 2 x 9 cm

$S_2 = 18 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$; $I_2 = 3,28 \text{ m}^4$; $E_2 I_2 = 59,10 \times 10^6 \text{ KNm}^2$.

Legături : rigiditate axială $\rho_{12} = EA/lh = 72,73 \text{ KN/m}^2$

Ipoteze :

Ipoteza 1 : $g_1 = 28,95 \text{ KN/m}$; $e_1 = 0,160 \text{ m}$

$g_2 = 23,95 \text{ KN/m}$; $e_2 = 0,104 \text{ m}$

Ipoteza 2 : $q_1 = q_2 = 31,5 \text{ KN/m}$

Pentru coloanele cu goluri, s-au introdus conform precizărilor din
 54 , în calculul cu metoda Drexlov, caracteristicile secțiunii
 nete. Rezultatele calculului cu metoda Drexlov sînt sintetizate în
 fig. 5.67.

Structura S.1 - S.2 a fost calculată și cu metoda elementelor
 finite, modelul MEF. În acest sens a fost fragmentată în două sub-
 structuri S.1 și S.2 ; fiecare substructură a fost modelată cu ele-
 mente finite de membrană și cu elemente finite de bază conform sche-
 mei din fig. 5.45, iar legăturile cu bare articulate deformatibile.
 Calculul efectiv s-a făcut prin aplicarea programului PALAS (173).
 Rezultatele calculului sînt prezentate comparativ cu cele obținute
 prin metoda Drexlov, în fig. 5.69.

Pentru cazul stădiat, analiza comparativă a rezultatelor con-
 duce la următoarele constatări :

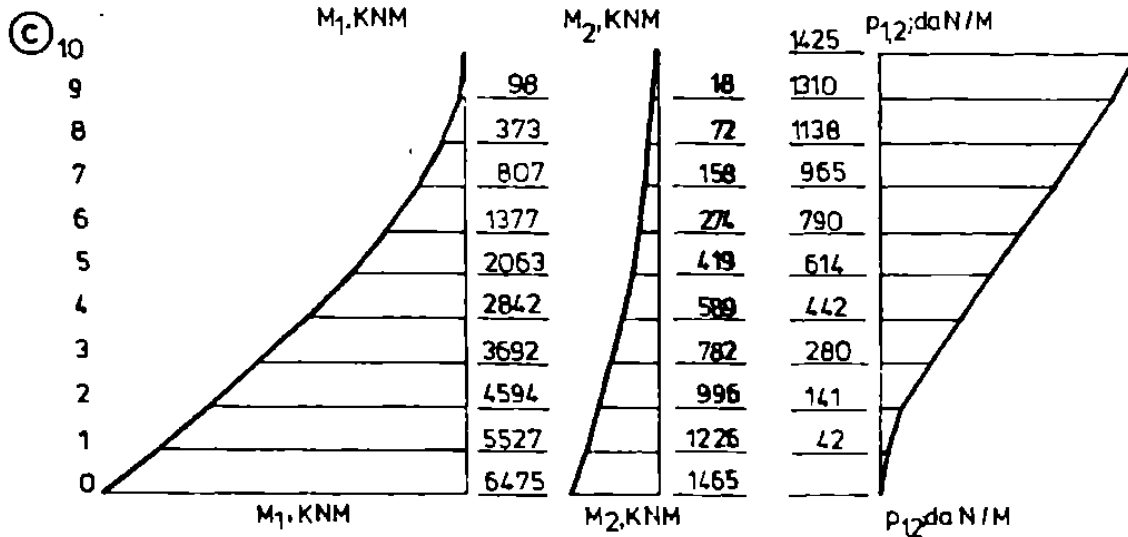
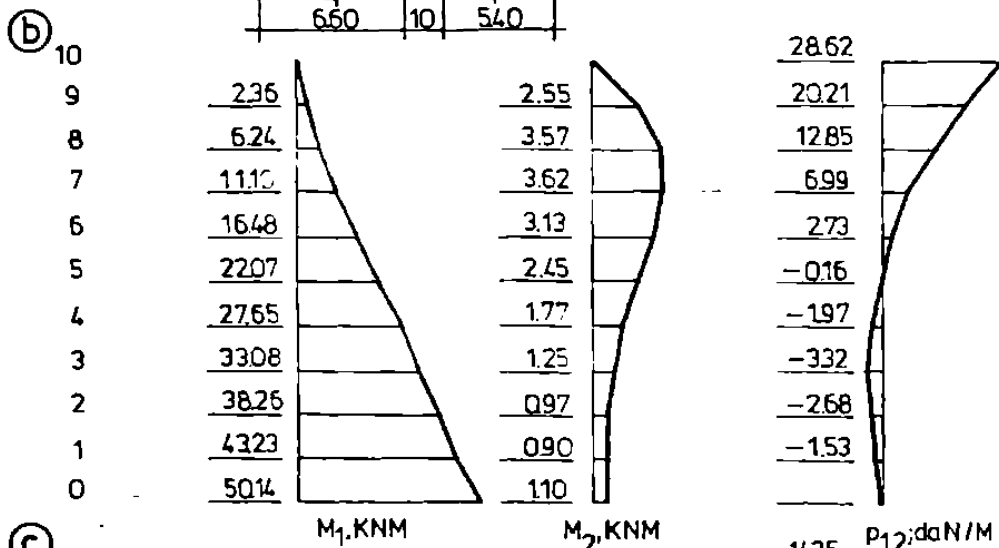
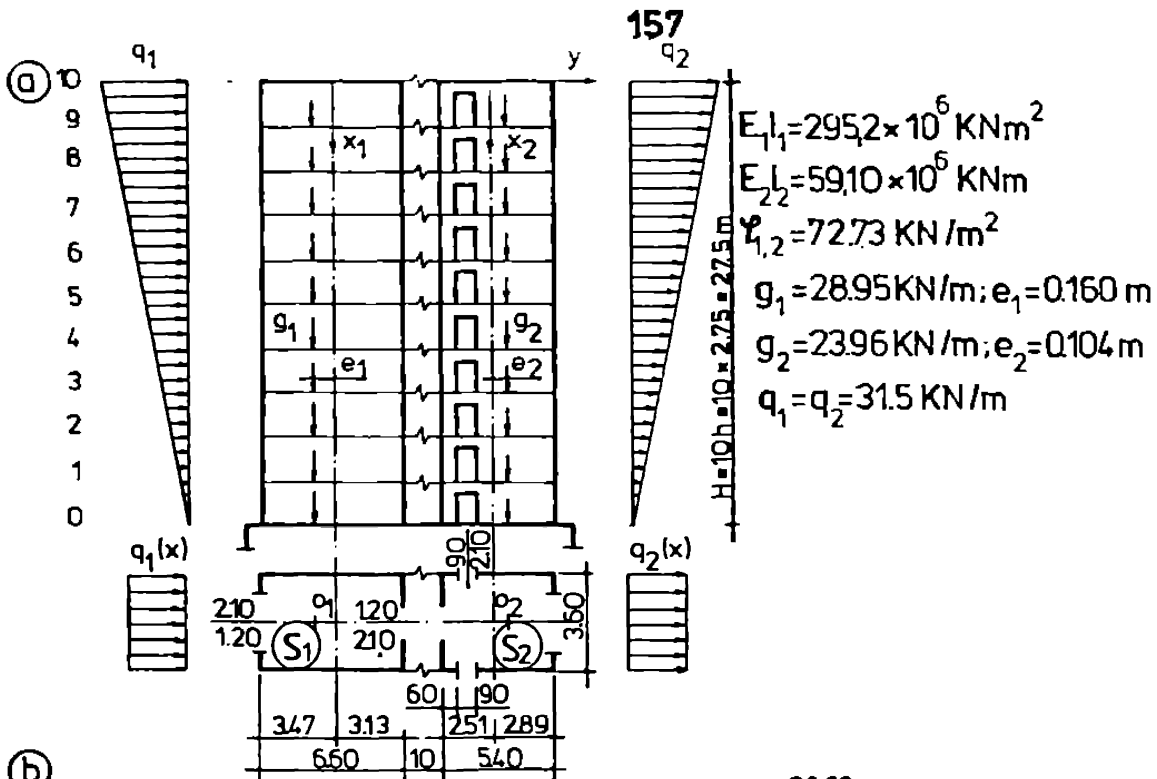
- Eforturile unitare normale în pereți σ_z , la baza coloanelor,
 sînt mai mari, în cazul metodei Drexlov cu circa 20% față de cele re-
 zultate prin MEF; diferențele cresc în jurul golurilor (fig.5.70 a,b);

- Distribuția și valorile eforturilor în legături p 1,2 ($I_p 1$,
 fig. 5.70 d și $I_p 2$, fig. 5.70 e) rezultate din calculul cu cele două
 metode sînt destul de apropiate.

În continuare se fac următoarele observații :

- Întrucît, în metoda Drexlov, pereții sînt asimilați cu bare,
 apreciem că pentru construcții cu puține niveluri rezultatele se in-
 depărtează și mai mult de cele obținute cu MEF ;

- Metoda Drexlov nu asigură studiul eforturilor în pereți în
 zonele învecinate golurilor ; adoptarea pentru coloanele cu goluri a
 caracteristicilor secțiunii nete, este o simplificare acceptabilă
 pentru determinarea eforturilor în legături dar conduce la erori mari



- (a) Schema structurii și a încărcărilor
 Distribuția momentelor încovoietoare M_1, M_2 aferente coloanelor S_1, S_2 și a eforturilor axiale p_{12} în legături pentru:
 (b) Ipoteza 1 - încărcări gravitaționale aplicate excentric
 (c) Ipoteza 2 - încărcări orizontale

Fig. 5.67

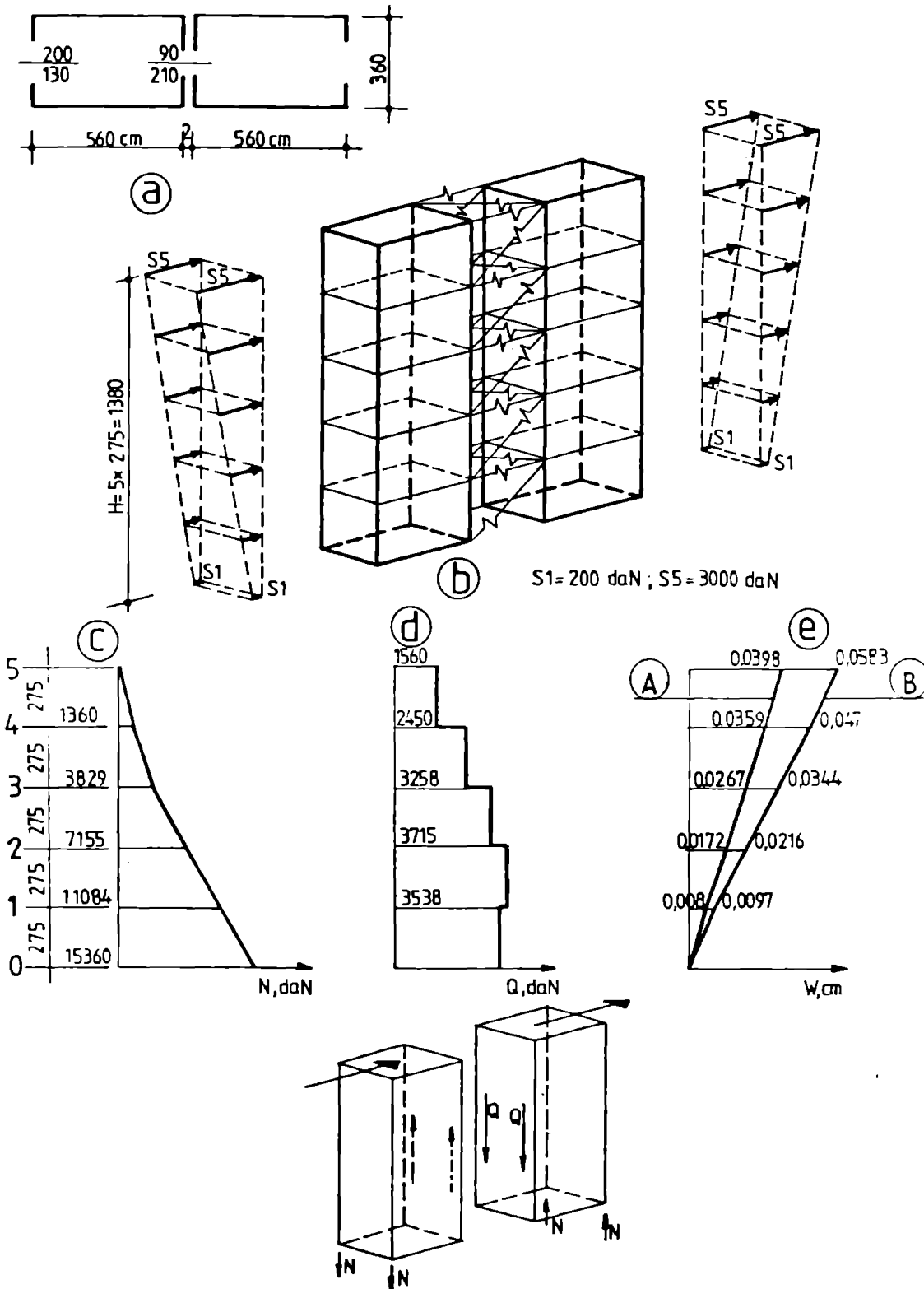


Fig. 5.68

- (a) — Sectiune orizontală - profil transversal din doua coloane
 - (b) — Schema structurii și a încărcărilor
 - (c) — Diagrama eforturilor N în planul, fatadelor
 - (d) — Diagrama forțelor tăietoare Q în rostul vertical dintre coloane
 - (e) — Diagrama deplasărilor orizontale W
- (A) coloanele sînt monolitizate în rostul vertical
 (B) coloanele nu preiau forțe tăietoare în rostul vertical

în calculul și distribuția eforturilor în pereți.

- Cu metoda Droncov nu pot fi luate în considerație discontinuitățile de rigiditate care apar în rosturile orizontale ale coloanelor; efectul acestora poate fi evidențiat cu metoda MEF, adoptând, funcția de soluție de înținare, unul din modelele studiate la 5.4.2.

5.5.2. Exemplul de calcul nr. 2 Comparatie TRILIP - MEF.

Structură cu 5 niveluri alătuită din două coloane de elemente spațiale, identice, încărcate cu forțe orizontale ca în fig. 5.66b. Beton armat B.300; pereții interiori : 7 cm; pereții exteriori : 3,0 c.a.b.s., 3,4 cm vată minerală, 5 cm. b.s.; planșee de pardosou : 10 cm, planșee de tavan : 7 cm.

Rostul dintre coloanele alăturate este tratat în două variante : Varianta A, prin monolitizare verticală cu mortar de ciment și anprente în elementele prefabricate adiacente; se consideră că forțele tăietoare în rost sînt preluate și Varianta B, rostul vertical este liber.

Calculul eforturilor și deplasărilor structurii a fost efectuat de Institutul TRILIP, folosind metode și programele proprii, în cadrul colaborării acestuia cu INCERC București și ICIL Brașov [156]. Rezultatele calculului cu metoda TRILIP sînt înregistrate în fig. 5.68.

Aceeași structură a fost calculată și cu metoda elementelor finite, modelul MEF. Coloanele au fost modelate cu elemente finite de membrană, ca în schema din fig. 5.45 d, iar legăturile cu bare articulate echivalente. Rezultatele calculului sînt prezentate comparativ, cu cele obținute prin metoda TRILIP, în fig. 5.70. Pentru cazul reprezentat prin exemplul de calcul, analiza comparativă a rezultatelor conduce la următoarele constatări :

- Distribuția și valorile forțelor axiale în legăturile verticale din căpurile elementelor, determinate cu cele două metode, sînt apropiate; diferențele valorice sînt în jur de la - 20% (fig. 5.70a);

- Distribuția și valorile forțelor tăietoare în rostul vertical dintre coloane sînt destul de diferite; metoda TRILIP conduce la o supraevaluare a forțelor tăietoare la bază cu circa 50% și o subevaluare la vîrf cu circa 40% față de metoda MEF (fig. 5.70 b).

- Deplasările laterale ale construcției determinate cu metoda TRILIP sînt mai mici decît cele rezultate cu metoda MEF; la vîrfurile construcției diferențele sînt de 30-40% (fig. 5.70 c,d).

În legătură cu metoda TRILIP se mai fac următoarele observații :

Modelul de calcul adoptat neglijează deformațiile rezultate

din solicitarea pereților cu forțe axiale (eforturi unitare normale) și momente încovoietoare; efortul deformațiilor neglijate crește în cazul pereților cu goluri ;

- metoda nu tratează unitar calculul structurii și a elementelor componente : pentru ansamblul structural se folosește metoda generală a forțelor din statica structurilor alcătuite din bare, iar pentru elementele spațiale s-au adoptat metode specifice teoriei elasticității structurilor din plăci.

- La calculul practic al elementelor spațiale se introduc simplificări, care constau, în principiu, din :

. încărcările care provin de la etajele superioare - în cazul rezanței pe perimetru - se aplică numai pe muchiile pereților longitudinali și sînt considerate cu distribuție liniară;

. neglijarea pereților transversali (cu lungime mai mică) în calculul de încovoiere ;

. folosirea frecventă a metodei plăcilor subțiri prismatice închise a lui V.Z.Vlasov, la calculul stării plane de eforturi, cu toate că, în majoritatea cazurilor, raportul între lungime și înălțime (lățime) este mai mic decît 2.

6. REALIZĂRI ȘI ASPECTE DE APPLICABILITATE TEHNICO-ECONOMICĂ.

În acest capitol sînt prezentate principalele realizări în domeniul sistemelor de construcție cu elemente spațiale, obținute cu participarea autorului acestei teze.

La baza acestor realizări stau două tipuri distincte de instalații de formare asociate cu procedeele de fabricație a elementelor spațiale, brevetate ca invenții, sub denumirile :

„Element spațial prefabricat, monolit, din beton armat pentru construcții, instalație și procedeu pentru realizarea lui”, în R.S.R. cu nr. 5474e/1972, [1e3], și

„Instalație și procedeu de formare alternativă a elementelor spațiale de beton armat”, în R.S.R. cu nr. 6530e/1978, [1e4] și în R.F.G. cu nr. 2601287/1979, [1e7],

Urmare aplicării acestor invenții au fost dezvoltate la ICIM Brașov două tehnologii de fabricație, respectiv două sisteme de construcție cu elemente spațiale, prezentate succint la 2.3.2 și 2.3.3.

6.1. REALIZĂRI ÎN SISTEMUL I C I M DE CONSTRUCȚIE CU ELEMENTE SPAȚIALE TIP IRL [1e2, 2e, 1e6, 21].

Prima clădire realizată în acest sistem, în anul 1969, a fost un bloc de locuințe cu 5 niveluri și 20 apartamente. S-a folosit un singur nodul spațial ($L_1 \times L_2 - H = 300 \times 500 - 300$ cm)

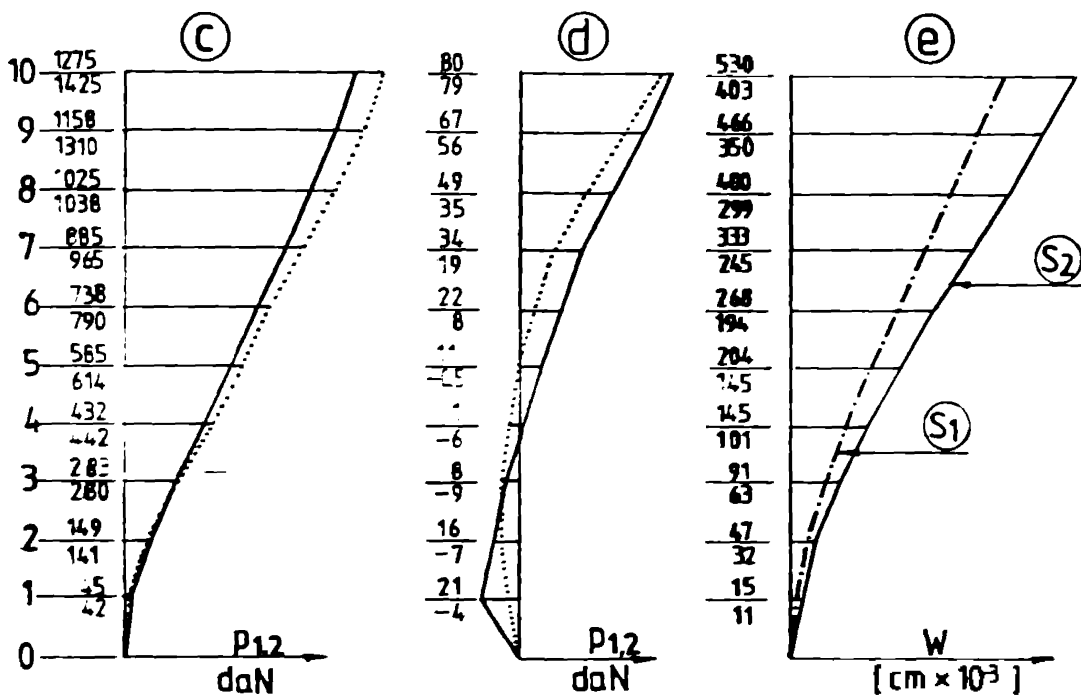
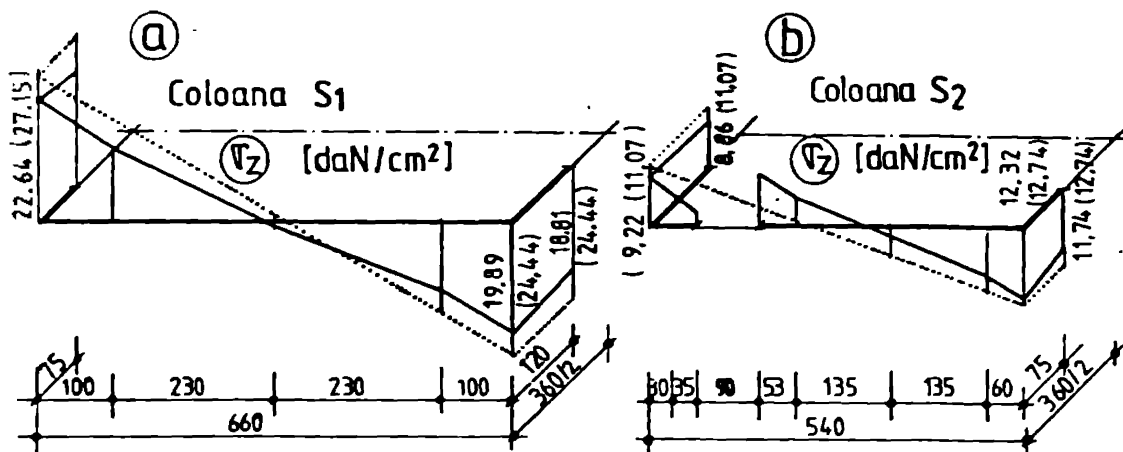


Fig. 5.69

—— MEF, Met. DROZDOV

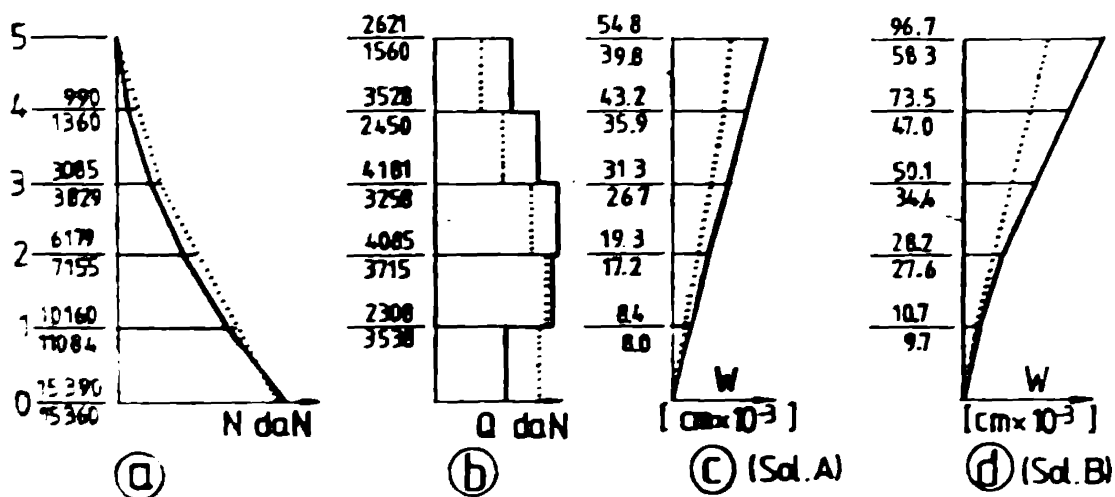


Fig. 5.70

—— MEF, Met. TIIIEP

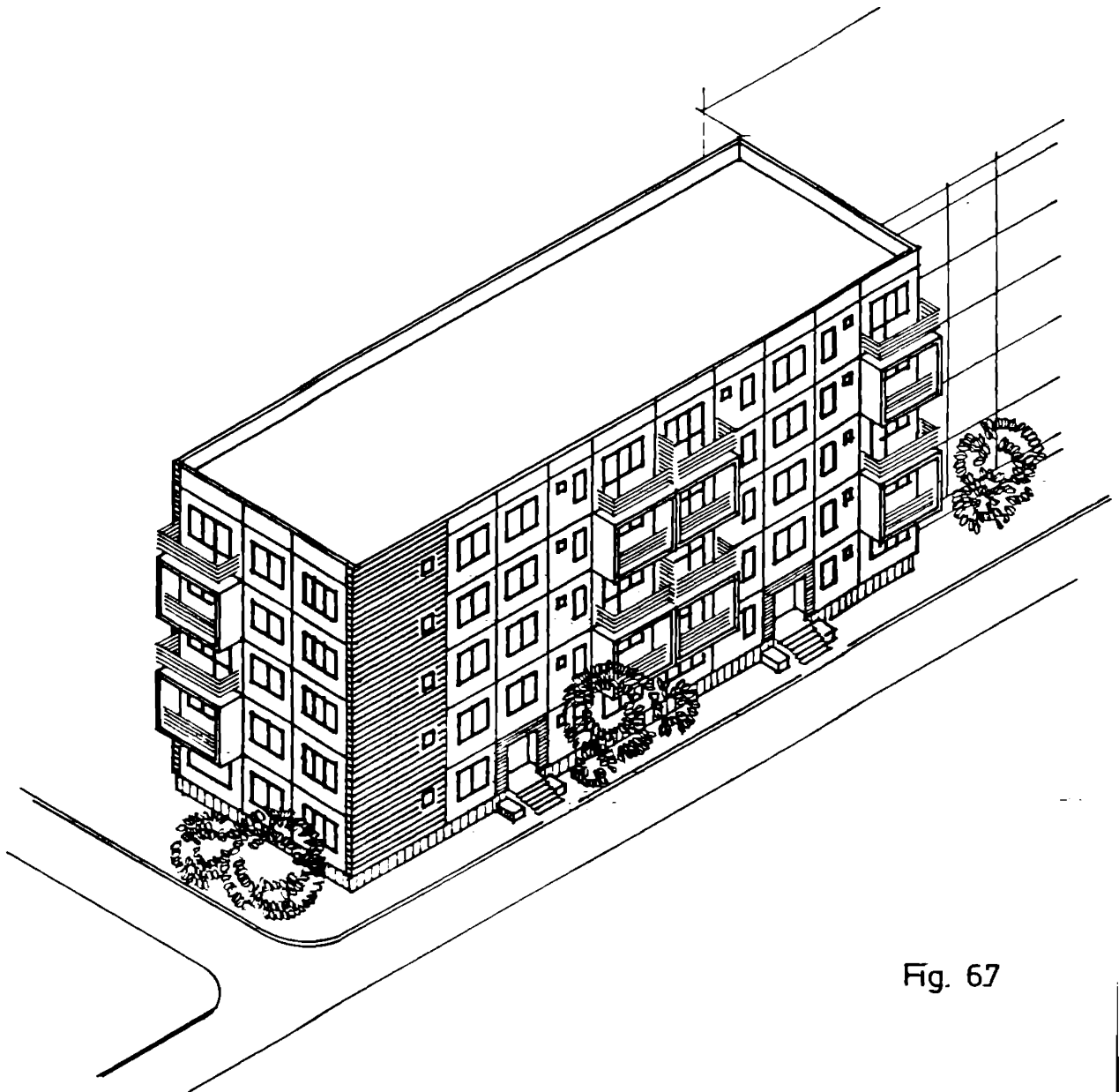
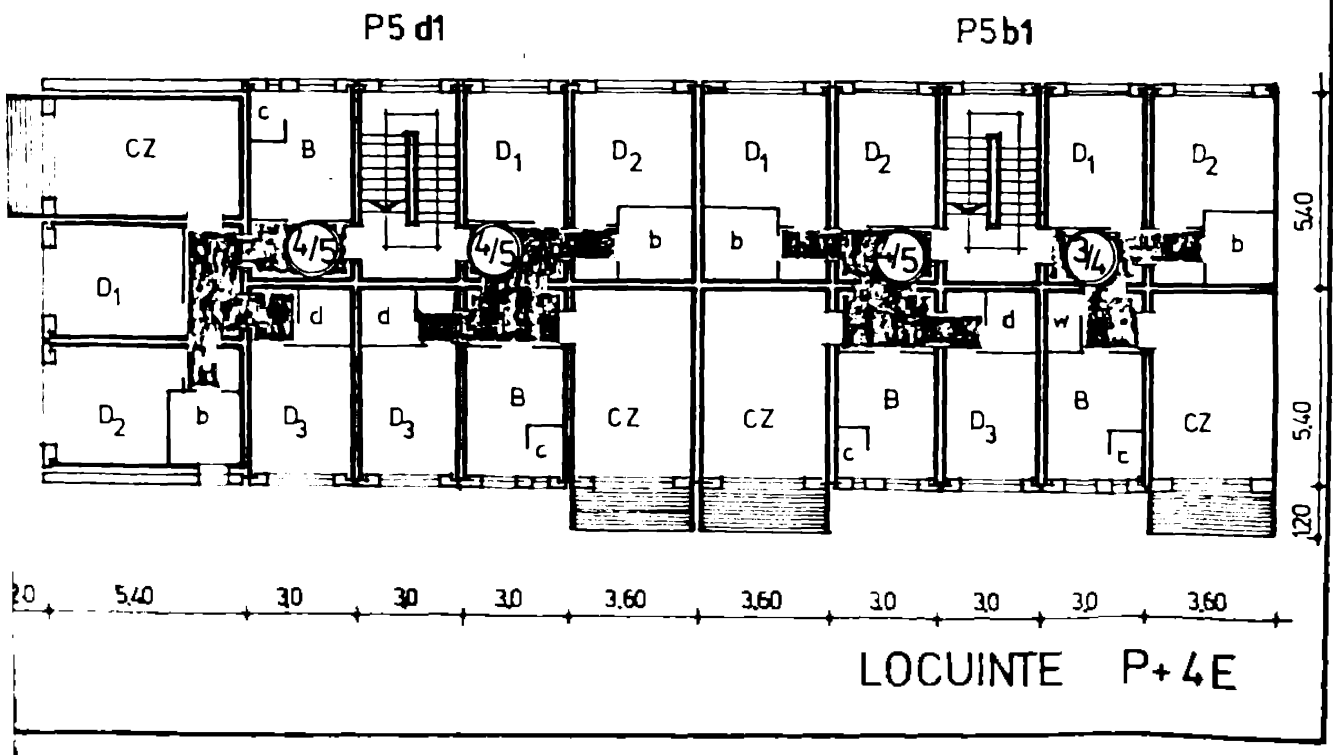


Fig. 67



(fig. 2.1.). Fiecare dărmitor este rezolvat într-un element spațial, iar camera de zi împreună cu loggia, în două elemente spațiale.

Structura clădirilor este alcătuită din elemente spațiale combinate cu panouri de pereți și eventual de planșee, asamblate cu îmbinări monolitizate, verticale și orizontale.

La clădirile realizate, s-au utilizat 5 moduli spațiali :
 M.1 = 105 x 300 - 300 cm ; M.2 = 275 x 440 - 300 cm ; M.3 =
 300 x 300 - 300 cm ; M.4 = 300 x 500 - 300 cm ; M.5 = 300 x 195 - 300
 cm, având greutatea de 7 - 8 tone.

În acest sistem, au fost construite, după proiecte experimentale sau refozabile, elaborate de I.C.I.M. Brașov și Institutul PROIECT Brașov, un număr de circa 50 de clădiri, însumând o arie desfășurată de 116.400 m².

Principali indici de costuri la m² de arie construită desfășurată, exemplificați la realizarea, după proiectul refozabil I.C.I.M. nr. 1229, a unui număr de 7 cămine de nefamiliști sînt : oțel beton 16,3 kg, ciment 141 kg., manoperă totală 17,5 ore din care 9,2 ore (53%) în fabrică și 8,15 ore (47%) în șantier [20].

6.2. Realizări în sistemul I.C.I.M. de construcție cu elemente spațiale tip pahar culcat.

La conceperea sistemului (instalația și procedul de forare, alcătuirea elementelor spațiale și a clădirilor), s-a urmărit asigurarea condițiilor tehnice pentru creșterea volumului de instalații și finisaje executate în fabrică pînă la livrarea elementelor spațiale echipate cu toate instalațiile și complet finisate.

Conform sistemului, fabricația elementelor spațiale poate fi organizată pe poligoane cu activitate sezonieră (fig. 2.8, 6.5), sau în fabrici (fig. 6.1).

Dezvoltarea sistemului s-a făcut în paralel cu cercetările de laborator, efectuate asupra elementelor spațiale (rezistențe și stabilitatea pereților), îmbinărilor (de monolitizare, praguri de înfecare) și structurilor (fragmente de structuri, calcane de elemente spațiale), care s-au desfășurat la Catedra de beton și clădiri a I. r. Timișoara (1972 - 1977) [95, 97, 98, 138, 148, 149, 150], și la I.C.C.P.D.C. Filiale Timișoara, prin personalul catedrei menționate (1978 - 1983) [151, 152]. Rezultatele cercetărilor au fost operativ implementate în sistem și sînt implicit incluse în acesta.

Etapele în evoluția sistemului, cu principalele caracteristici și realizări, sînt prezentate în continuare.

Etapa 1 (1973 - 1976).

. Structurile asamblate din elemente spațiale cu îmbinări de continuitate continue, verticale și orizontale (fig. 3.9 a, b, c) sînt asamblate cu structuri în diafragme și calculate cu metodele specifice acestora.

. Urmare rezultatelor cercetărilor experimentale, pereții alcătuiți din plăci subțiri ($h_p = 5 - 6$ cm) cu nervuri verticale la fața exterioară, amplasate la distanțe $l = 100 - 120$ cm ($l \leq 20 h_p$) sînt echivalenți, în verificarea la flambaj, cu plăci avînd fețe netede, grosimea plăcii echivalente fiind stabilită din condiția de egalitate a rigidității la înveciere a secțiunilor cu a pereților nervurați.

Etapa 2 (1977 - 1979).

. Alctuirea structurilor prin combinații de stive și coloane de elemente spațiale (fig. 3.4 a, b) asociată cu adoptarea de îmbinări uscate (fig. 3.5; 3.6 a, b; 3.7.a);

. Elaborarea proiectelor tip pentru locuințe [155] și a detaliilor de uzinare a elementelor prefabricate [156] (fig. 6.7);

. Folosirea modelului MSD la calculul structurilor așa cum a fost prezentat la 5.1.2.

Etapa 3 (1979 - 1982).

. Adoptarea soluției de îmbinare a elementelor spațiale sugerate cu profiluri perimetrice sub formă de borduri care se interpenetră, în vederea prelucrării forțelor tăietoare (fig. 3.6 a, b);

. Adoptarea modelului de calcul MAF (5.1.2) asociat cu folosirea unor programe adecvate [23] (MAF 4 [17], PALAS, versiunea 1);

. Elaborarea „recomandărilor pentru proiectarea și execuția clădirilor din elemente spațiale finite, realizate în tehnologia și sistemul constructiv I.C.I.M. Brașov, 1979” [24];

. Elaborarea unor programe de calcul automat, specifice structurilor din elemente spațiale : PALAS, versiunea 1 [23] și STREPP 51 (autor ing. A. Iona, colaborator ing. I. Barș);

. Revizuirea și îmbunătățirea proiectelor tip pentru locuințe din elemente spațiale (1982), [155, 156].;

. Elaborarea „Instrucțiunilor tehnice pentru proiectarea structurilor din elemente spațiale prefabricate de beton armat” redactarea I, 1983 [29].

În acest sistem au fost construite clădiri de locuit, hoteluri, anexe sociale¹ - industriale, etc. în majoritate cu 5 niveluri, însumînd peste 400.000 m² arie deafăgurată (circa 5.000 apartamente echivalente cu două camere). A fost utilizată o serie de 9 moduli

MANOPERA DIRECTA SI PRODUCTIVITATEA MUNCII
AFERENTE SISTEMELOR CONSTRUCTIVE APLICATE
ÎN R.S.R.

Sistemul constructiv	Manopera directa		Productivitatea	
	$\frac{\text{ore fizice}}{\text{m}^2 \text{ Adc}}$	%	$\frac{\text{m}^2 \text{ Adc}}{\text{om luna}}$	%
Zidarie de caramida	22,0	183	8,73	55
Cadre din b.a.	19,0	158	10,11	63
Diafragme din b.a.	16,5	137	11,64	72
Panouri mari pref.	12,0	100	16,00	100
Elemente spatiale	5,5	46	34,9	217

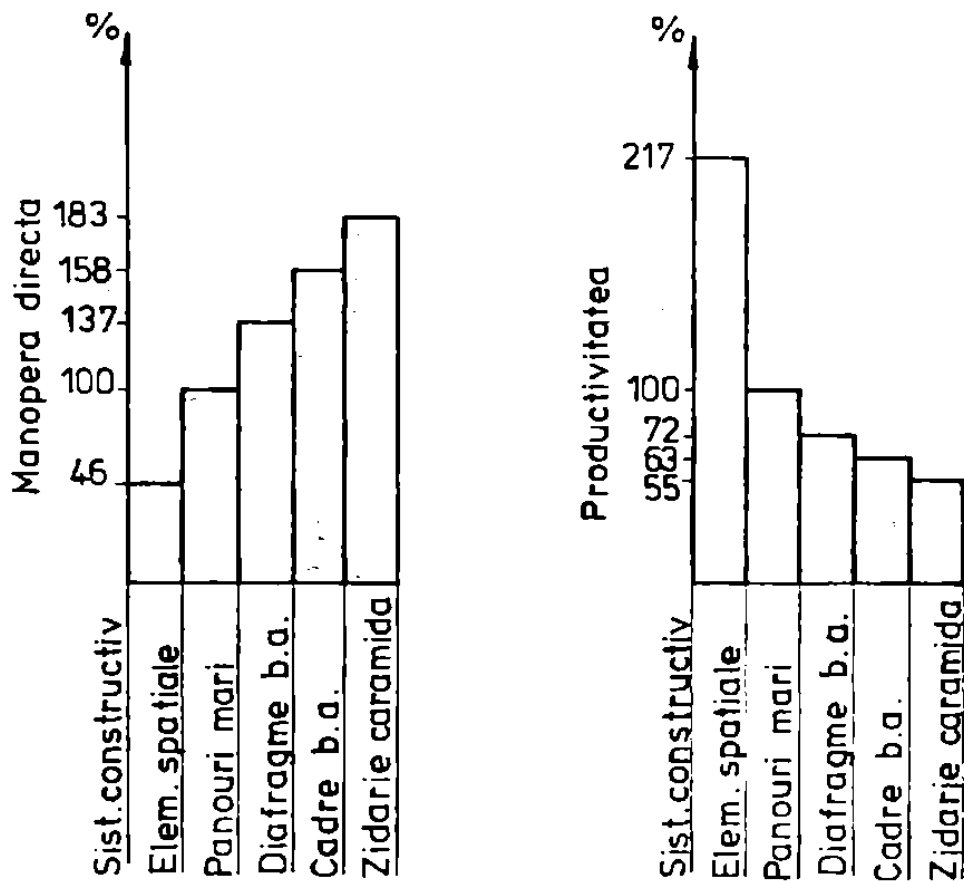


Fig. 68

PRINCIPALII INDICATORI PENTRU CLĂDIRI DE LOCUIT P+4E EXECUTATE IN DIVERSE SISTEME CONSTRUCTIVE

Tabel '6.1

Nr crt	Sistemul constructiv	Sect.	Elaborator	Tip de tronson	Etaj	Ciment Kg/m ² Adc		Otel Kg/m ² Adc		Maro per directa	Greutate constr. Kg m ² Adc	Energie inglob. KJcc. m ² Adc			
						Total	din care în prefab.	Total	din care otel beton						
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Zidarie caramida	Z6 b1	ICPROM Iasi	20	mijloc	7	143	40	18,4	16,9	5,7	3,4	22,8	1200	175
2	Cadre din ba.	C2 a1	PROIECT B	20	independent	7	157	57	30,3	28,8	6,4	4,2	19,2	882	158
3	Diafragme din ba.	D2 d1	IPJ Dolj	20	mijloc	7	158	52	24,2	22,7	14,5	2,4	16,5	940	154
4	Diafragme din ba.	D5 c4	IPJ Constanta	15	independent	7	196	55	29,7	27,7	11,5	6,8	17,7	975	151
5	Panouri mari	P2 a1	IPCT	14	capat	7	166	113	21,6	19,3	15,0	6,7	12,0	1050	165
6	Panouri mari	P4 b2	IPJ Constanta	20	mijloc	7	180	125	25,2	22,90	16,99	9,71	14,0	1100	156
7	Elemente spatiale	P5 c1	ICIM Bv	14	mijloc	7	160	140	23,2	20,9	19,5	11,8	5,5	981	161
8	Elemente spatiale	P5 g2	ICPROM Iasi	19	mijloc	7 ^{1/2}	179	148	26,0	23,7	20,6	10,0	7,4	877	158
9	Elemente spatiale	P5 h1	IPJ Dolj	20	mijloc	7 ^{1/2}	163	134	23,1	20,8	19,6	11,6	5,7	990	168

NOTĂ: — Datele au fost extrase din Catalogele
de proiecte tip CPCP - ICCPDC aprobate
în ianuarie 1982.



Fig. 6.1 Sistemul ICIM Bv. – Element spațial
în hala de fabricație.



Fig. 6.2 Sistemul ICIM Bv. – Depozit de
elemente spațiale finisate.

spațial (fig. 2.7), ($L_1 \times L_2 = H_{\text{max}}$) : 300 x 400 - 275 ; 330 x 540 - 275 ; 330 x 660 - 275 ; 360 x 420 - 275 ; 360 x 480 - 275 ; 360 x 540 - 275 ; 360 x 660 - 275 ; 360 x 720 - 275.

Un bloc de locuințe cu 20 apartamente, secțiunea r_2 și r_1 (fig. 2.7), a fost realizat la Iași (1966) din elemente spațiale fabricate la Brașov, livrate complet finisate și transportate pe C.F. (60 bucăți) și cu trailere (40 bucăți).

Au fost realizate și elemente spațiale cu goluri mari în pereți, de tipul celor prezentate în fig. 3.3., utilizate la construirea a două cămine - școală, cu clase la parter (Brașov, Căveana).

Invenției cu denumirea „sistem de construcție cu elemente spațiale”, autori ing. D. Moldovan și ing. Borș I., i-a fost acordat premiul III la Salonul Național de Invenții, București, 1979.

În sistemul I.C.I.M. de construcție cu elemente spațiale s-au obținut performanțe care de a fi consemnate : pe funcțiile executate în prealabil s-a realizat, complet, în numai o săptămână, un bloc cu 20 de apartamente, astfel că luni a început construcția și sâmbătă s-au sfințit locuințele. (mai 1979)

Principali indicatori tehnico-economici ai sistemului de construcție cu elemente spațiale, sînt prezentați, comparativ cu al celorlalte sisteme constructive aplicate curent în țara noastră, în tabelul 6.1 și fig. 6.8. Din analiza acestora, comparativ cu sistemul în pereți mari, rezultă :

- reducerea greutateii construcției cu 5 - 10% ;
- creșterea productivității muncii pe șantier cu peste 200% ;
- reducerea manoperei totale, înglobate în construcție cu 20 - 25% [34, 26] ;
- reducerea spectaculoasă a duratelor de execuție a lucrărilor (pentru o clădire curentă de la 4,5 luni la max. 1,5 luni).

La aceste avantaje se mai poate adăuga eficiența economică și socială rezultată pe seama scurțării duratelor de execuție, din reducerea oblațiilor indirecte ale devalului, circulației mai rapide a fondurilor financiare și punerea în funcțiune mai devreme a clădirilor [115, 170, 175].

7. PARTICIPAREA LA ACTIVITATEA DE PROIECTARE

7.1. CONCLUZII.

Principalele contribuții aduse de autor în lucrare sînt :

a) efectuarea unei sinteze a sistemelor de construcție cu elemente spațiale și a procedurilor de realizare aplicate în țară și străinătate ;

b) participarea la elaborarea a două sisteme de construcție cu elemente spațiale asociate cu instalațiile de formare și procesele de realizare, brevetate ca invenții, în R.S.R. [165], respectiv în R.S.G. [166] și S.F.G. [167] ;

c) definirea particularităților de alcătuire - comportare ale structurilor din elemente spațiale care impun considerarea lor ca o categorie distinctă de structuri ;

d) definirea componentelor structurale specifice clădirilor din elemente spațiale : stive, colone elementară, colone complexă ;

e) adoptarea unor soluții originale de îmbinare a elementelor spațiale în structurile clădirilor :

- soluția de îmbinare verticală cu baze de continuitate din șel beton, folosite în faza de fabricație - montaj pentru manipulare (fig. 3.5.) ;

- soluția de îmbinare cu profiluri perimetrice care se introduc la amplasare (fig. 3.6.) și asigură, în faza de execuție, un montaj ușor și exact (cu abateri ce depind de precizia de execuție a elementelor), iar în faza de exploatare prelungește semnificativ durata de viață în rosturile orizontale ;

- soluția pentru îmbinările de amplasare continue, verticale și orizontale, între componentele structurilor alcătuite, care constă în asigurarea și betonarea spațiilor rezultate din exploatarea convenabilă a unor nervuri pe pereții elementelor spațiale și eliminarea colțurilor (fig. 3.9).

f) colaborarea la cercetările de laborator efectuate la Institutul Politehnic „Traian Vuia” și I.C.C.P.A.S.T. Filiala Timișoara, asupra elementelor spațiale, îmbinărilor și structurilor, prin :

- elaborarea tabelor de corectare în strîmna legătură cu soluțiile de alcătuire prevăzute în proiecte ;

- participarea la efectuarea unor încercări în laborator (comportarea pereților și colozelor, rezistența și rigiditatea îmbinărilor etc.) ;

- participarea la interpretarea rezultatelor și stabilirea unei baze de date necesare în activitatea de proiectare și execuție,

care să suplimenteze lipsa de prescripții ;

g) adoptarea metodelor de calcul MB (modelul diafragmelor și pereților) și MF (modelul cu elemente finite) în analiza structurilor din elemente spațiale (5.1.2), [23];

h) elaborarea, în baza metodei elementelor finite, a procedurii macroelementelor - procedeu unitar de analiză spațială a structurilor și a elementelor componente. În vederea optimizării calculului procedeu a fost tratat (în trei variante) în ideea rezolvării macroelementelor - elemente spațiale, panouri, coloane, nucleu etc., - cu moduli care sînt bibliotecăși și pot fi refoșiși la mai multe tipuri de clădiri ;

i) Colaborarea la elaborarea unor programe de calcul automat specifice structurilor din elemente spațiale : PALAS (Program pentru Analiza Liniară a Structurilor din Elemente Spațiale) versiunea 1, [23], STAPP (Structuri din Elemente Plane Perpendiculare) [51], PALAS Versiunea 2 [52,173];

j) Modelarea unor tipuri de îmbinări în vederea introducerii caracteristicilor reale de rezistență și rigiditate ale acestora în analiza structurilor (îmbinări de consolidare, cu bareuri perimetrice, cu plăcuțe metalice sudate) ;

k) adoptarea unui model de calcul pentru elementele spațiale sub formă de cupă cu luarea în considerare a interacțiunii structurii cu terenul de fundare ;

l) efectuarea unor experimentări numerice asupra elementelor spațiale, coloanelor și structurilor (în total 51 de experimentări) urmărindu-se :

- analiza comparativă a sistemelor de alcătuire a elementelor spațiale cu pereți portanți, prezentate la al.3 ;

- analiza soluțiilor de rezemare a elementelor spațiale în structură : liniară și concentrată ;

- studiul influenței imperfecțiunilor de fabricație și montaj a elementelor spațiale asupra stărilor de eforturi și deformații ;

- stabilirea unor soluții constructive și tehnologice eficiente pentru elementele spațiale sub forță de cupă ;

- analiza comparativă a modelelor de calcul MB (modelul barelor), MD (modelul diafragmelor) și MF (modelul de calcul cu elemente finite) în analiza structurilor din elemente spațiale ;

- analiza comparativă a coloanelor avînd panouri de fațadă portante sau numai de rigidizare ;

- studiul efectului rigidității reale a îmbinărilor între elementele suprapuse comparativ cu ipoteza consolidării perfecte ;

nală de rezonanță $\alpha = 2 \text{ l on}$), eforturile și deformațiile suplimentare maxime devin semnificative: 20 - 30% față de cele corespunzătoare încărcărilor de exploatare și cresc la 40 - 50% în jurul golurilor. În vederea rennoșerii lor se recomandă limitarea mai severă a eforturilor admisibile prin adoptarea unor tehnologii care să asigure precizia sperite la fabricație și montaj.

e) Din studiul experimental al comportării pereților elementelor spațiale la încărcări uniforme distribuite în lungul muchiurilor orizontale, aplicate în planul median, rezultă următoarele:

- deformațiile pereților sînt suprafețe cu dublă curbură, sînt în soluția de alcătuire din plăci subțiri cu fețe netede cît și în soluția de alcătuire din plăci subțiri cu nervuri verticale la fețe exterioară; în condițiile alcătuirii și dispunerii nervurilor ca în fig. 4.1, acestea nu sînt necesare fixe pentru placa subțire, dar îmbunătățesc comportarea la stabilitate a pereților;

- încercările elastice ale pereților în lungul muchiurilor, îmbunătățesc comportarea la stabilitate (stabilitatea pereților crește cu creșterea gradului de monolitizare al elementelor spațiale);

f) Din încercările colcănelor (realizate din elemente spațiale tip pană culest) la efectul combinat al încărcărilor statice verticale (A) și orizontale aplicate în cialuri alternante (B), rezultă următoarele:

- panourile prefabricate de față (îmbinate pe elementele spațiale cu plăcuțe metalice sudate, distribuite pe contur și mortar de rostului cu mortar de ciment) nu sînt antrenate în prelucrare directă de eforturi specifice pereților portanți; se impun măsuri tehnice și tehnologice pentru realizarea corectă a îmbinării panourilor care să le atribuie un rol portant, sau se vor considera în calcul cu rol de rigidizare rezultînd din aceasta creșterea eforturilor în pereții portanți adiacenți;

- pereții subțiri ai elementelor spațiale ($\lambda' = 3d$) își mențin stabilitatea pînă în stadiul de cedare a colcănelor (care se produce prin zdrobirea betonului comprimat în pereți, la bază); modul de alcătuire a elementelor și a colcănelor contribuie la folosirea capacității de rezistență înainte pierderii stabilității;

- pînă la rapoarte $h/h = 0,17 - 0,29$ (funcție de direcție de acțiune a forțelor B, prezența și mărimea golurilor) colcănele se comportă elastic;

g) Din încercările de laborator și experimentările numerice efectuate asupra elementelor spațiale și colcănelor, rezultă rezerve ale capacităților de rezistență și stabilitate ale pereților care conduc la posibilitatea folosirii elementelor spațiale cu

aceleași secțiuni de beton (cu dimensiunile corespunzătoare a îmbinărilor), la clădiri cu mai mult de 5 niveluri sau amplasate în zone cu grade de protecție seismică mai mare decât 7 ;

h) Din încercările de laborator și experimentările numerice asupra colozelor, rezultă participarea întregii secțiuni orientate nete a acestora la preluarea eforturilor din încălzări gravitaționale ; distribuția eforturilor unitare normale în secțiuni orientate (precum și distribuția deformațiilor specifice liniare pe direcție verticală la colozele încercate), rezultată din încălzări gravitaționale combinate cu încălzări orizontale, indică conducerea „îmbinilor” cu „tâlpile” pe toată secțiunea orizontală netă a colozelor ;

1) Procedul macroelementelor, asociat cu modelarea caracteristicilor reale de rezistență și rigiditate ale îmbinărilor, asigură o analiză spațială unitară a structurilor și elementelor componente, în condițiile renunțării la ipoteza monolitismului perfect, aplicată pe scară largă la calculul structurilor din elemente prefabricate.

j) Procedul macroelementelor este aplicabil și altor categorii de structuri ca : zăvoaie de beton armat (prefabricat sau monolit) și planșee prefabricate, structuri din panouri mari în sisteme „tuburi disfragate [37]”.

k) Urmare studiilor proprii (5.4.3), a încercărilor efectuate pe platforme seismice de la I.C.P.L.C. filiala Iași [155] și a experienței din străinătate [1, 116], rezultă posibilitatea realizării clădirilor de locuit având până la 5 niveluri, amplasate în zone cu seismicitate redusă și moderată (grad de protecție ≤ 7), din stive de elemente spațiale legate între ele, la nivelul planșeeilor de tavă cu îmbinări ușoare, foarte simple (de ex. plăcuțe metalice sudate; legăturile între elementele spațiale suprapuse în cadrul stivei pot fi prevăzute în soluție cu borduri perimetrice) ;

1) Îmbinările elementelor prefabricate constituie discontinuități de rigiditate în structură. Efectele principale ale considerării în calcul a rigidităților reale ale îmbinărilor sunt : înregistrarea unor „glisări” în rosturi, scăderea rigidității globale a structurii, creșterea eforturilor în rigle și redistribuirea eforturilor în elementele verticale ;

2) Urmare studiilor proprii și a cunoașterii realizărilor din străinătate în domeniul clădirilor din elemente spațiale, rezultă ca această categorie de structuri nu împiedică și stimulează dezvoltarea concepției funcționale și plastice a construcțiilor ;

n) Prin aplicarea sistemelor de construcție cu elemente spațiale în țara noastră s-a obținut dublarea productivității muncii pe șantier, față de sistemul cu penouri mari ; există posibilități de creștere în continuare a acestora, prin adoptarea pentru clădirile de locuit cu până la 5 niveluri, amplasate în zone cu seismicitate redusă sau moderată, a unor structuri foarte simple, alcătuite din stive de elemente spațiale ;

e) Prin aplicarea sistemelor de construcție cu elemente spațiale se obține o reducere spectaculoasă, de 60 - 70%, a duratelor de execuție, față de sistemele cu penouri mari, rezultând din aceasta o eficiență economică și socială importantă.

7.3. VALORIFICARE.

Rezultatele studiilor efectuate în cadrul lucrării au fost valorificate prin :

a) aplicarea în producție a sistemelor ICIAM de construcție cu elemente spațiale, cu participarea autorului la :

- proiectarea în mai multe variante a instalațiilor de formare și a tehnologiilor de fabricație și montaj ;

- elaborarea de proiecte experimentale, refolosibile și tip pentru diverse construcții: blocuri de locuințe, hoteluri, clădiri administrative, cămine de nefamilisti, cămine școală etc., după care au fost realizate clădiri însumând peste 500.000 m² adc (circa 6000 apartamente);

b) elaborarea „Recomandărilor pentru proiectarea și executarea clădirilor din elemente spațiale finalizate, realizate în tehnologie și sistemul constructiv ICIAM Brașov, 1979”.

c) elaborarea „Instrucțiunilor tehnice pentru proiectarea structurilor din elemente spațiale prefabricate, redactarea I, 1983”.

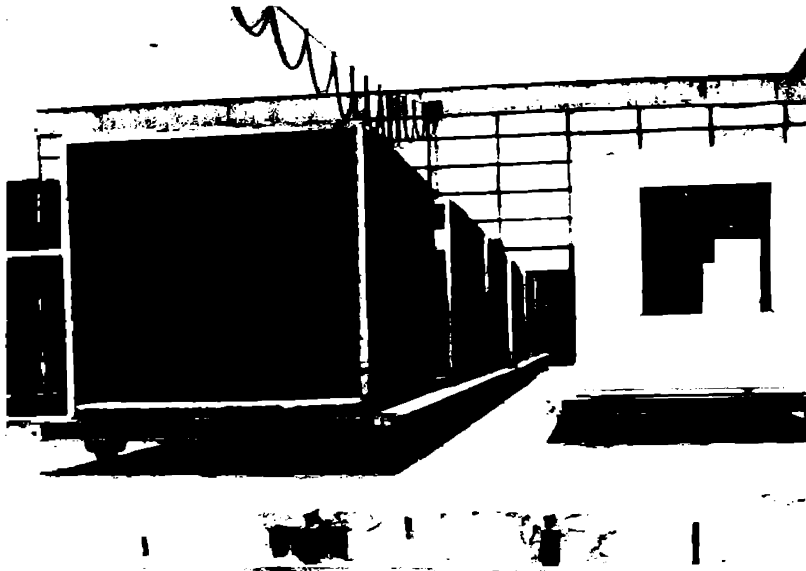


Fig. 8.5

Sistemul ICIM Bv.
Linii de finisaj
pe poligon.



Fig. 6.6

Hotel STADION
Poiana, Bv.

B I B L I O G R A F I A

1. Abdessalam F., Luges J., avis sur le gros oeuvre SIGMA. Cahier du CSTB nr. 1723, livraison 222 (septembre 1981)
2. Abel B., Différences finies, éléments finis et équivalences, dans le cas de l'élasticité plane. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, ITBTP, no 351, Juin, 1977.
3. Agent R., Postelnicu T., Calculul structurilor cu diafragme din beton armat, vol I, 1982, vol. II, 1983 ed. Tehnică, București.
4. Aguirre F., Salans V., Système espagnol de construction d'édifices à l'aide de blocs tridimensionnels. CIB, n19, S 56, Colloque International sur la Construction en Cellule (CIOC), I-1, Balatonfüred, Hungary, 1973.
5. Albige M., Calcul des murs en béton armé ou non armé, Annales de l'ITBTP, no. 270, Juin, 1970
6. Anastasescu D., Aspecte ale unor efecte de interacțiune în calculul și proiectarea structurilor, Rev. Construcții nr. 4-5, 1965.
7. Anandei G., Observații privind aplicarea elementelor spațiale prefabricate din beton armat, cu referire la experimentarea unor structuri demontabile cu elemente tip „tub”. Rev. Construcții nr. 6, 1972.
8. Avram C., Văcărescu I., Filimon I., Mărgu C., Terțes I., Rezistențele și deformațiile betonului, ed. Tehnică, București, 1971
9. Avram C., Anastasescu I., Structuri spațiale, Ed. Academiei R.S.R., București, 1978
10. Avram C., Borș I., Gruber I., ș.a., Clădiri multietajate din elemente spațiale prefabricate, Conferința a VII-e de betoane, vol. II, Iași, 1975.
11. Avram C., Mihăescu A., Gruber I., Borș I., Friederich H., Studiul comportării elementelor spațiale tip ICIA Brașov

- pentru clădiri etajate. Conferința a IX-a de betone, vol. III, Municipiul Gh. Gheorghiu Dej, 1978.
12. Avram C., Bob C., Friedrich R., Steian V., Structuri din beton armat. Metode elementelor finite. Teoria echivalențelor ed. Academiei R.S.R., București, 1984
 13. Baikov V., Strenguin S., Calcul des structures ed. Mir, Moscou, 1984.
 14. Bălan C., Căpățînă D., Implicații ale analizelor elastice și postelastice în proiectarea unei structuri prefabricate asamblate prin precuprinere. Simpozionul Național, aplicații ale inferenței în proiectarea și cercetarea de construcții, SMIC - 1, vol. 1, Sibiu, 1979
 15. Bărsan G., M., Dinamica și stabilitatea construcțiilor A.L.P., București, 1979
 16. Beleş A., M., Voinea M., Rezistența materialelor vol. II, Ed. Tehnică, București, 1978
 17. Beleş A., M., Mihăilescu C., Mihăilescu St., Calculul construcțiilor amplasate pe terenuri deformabile, Ed. Academiei R.S.R., București, 1977
 18. Bie C., Ilie V., Soare M., V., Rezistența materialelor și teoria elasticității, A.L.P., București, 1983
 19. Bjertness H., Modular Box-Unit housing in practice, a case of A/S Aalvén Brug, CIB, W19, S56, CICC, II-2, Balatonfured, Hungary, 1973.
 20. Borș I., Velcu G., Procedeu de prefabricare cu elemente spațiale de beton armat. Rev. Construcții 2, 1973
 21. Borș I., Găvrănescu S., Construcții din elemente spațiale prefabricate, Rev. Architecture 2, 1975
 22. Borș I., Structuri din elemente spațiale de beton armat. Sesiunea științifică a Institutului Politehnic Cluj-Napoca, vol. Structuri și elemente de construcții, 1978
 23. Borș I., Doșe A., Calculul structurilor din elemente spațiale de beton armat executate în sistemul constructiv ICIH Brașov SMIC - 1, vol. 1, Sibiu, 1979.
 24. Borș I., Măhora I., Postelnicu S., Aldea V., Recomandări pentru proiectarea și executarea clădirilor din elemente spațiale finite, realizate în tehnolo-

gia și sistemul constructiv ICIM Brașov, 1979

25. Borș I., Doss A., Studiu comparativ al elementelor spațiale din beton armat pentru clădiri de locuit, funcție de sistemul de alcătuire, SNIC - 3, vol.1, Sibiu, 1982
26. Borș I., Doss A., Calculul elementelor spațiale de beton armat pentru clădiri de locuit. A XI-a Conferință de betoane, vol.I, Timișoara, 1982.
27. Borș I., Doss A., Particularități de alcătuire și de calcul a structurilor din elemente spațiale. A XI-a Conferință de betoane, vol. II, Timișoara, 1982
28. Borș I., Doss A., Studiu de sinteză asupra sistemelor de construcție cu elemente spațiale prefabricate și a metodelor de calcul utilizate. Contract ICIM Bv. - I.C.C.P.D.C. Fil. Timișoara nr. 2391, 1983
29. Borș I., Doss A., Miheșcu A., Stoian V., Toma A., Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea structurilor din elemente spațiale de beton armat, Redactarea I, Contract I.C.C.P.D.C. nr. 939, 1983, subcontract ICIM Bv. nr. 2391, 1983
30. Borș I., Analiza unor soluții constructive pentru cuvele de beton armat ale fundațiilor ciocanelor de forjă, SNIC - 5, vol.1, Sibiu, 1986
31. Borș Iacob., Studiul plăcilor plane cu goluri, Teză de doctorat, Institutul Politehnic Cluj - Napoca, 1984
32. Boutin J., P., Puech C., Tran.Thang, Etude comparative du calcul des murs en béton armé ou non armé suivant divers règlements annales de l' ITBTP no. 270, Juin, 1970
33. Brînsan I., Barboianu M., Calculul și alcătuirea structurilor etajate cu diafragme. Ed. Tehnică, București, 1976
34. Brannikov P., I., Construcții din elemente spațiale (traducere din limba rusă). Ed. Tehnică, București, 1984.
35. Capre A., Moutecour M., Modélisation des structures pour calcul sur ordinateur, Ed Eyrolles, Paris, 1983
36. Căpățină D., Sandi H., Degeriu L., Măgar V., Utilizarea calculato-
torului în analiza și proiectarea structurilor de construc-
ții, SNIC - 1, vol.1, Sibiu, 1979
37. Căpățină D., Solomon M., Asupra stării de solicitare la acțiunea seismică a structurilor alcătuite din tuburi diafragmate pentru clădiri de locuit P + 8 din panouri mari, SNIC - 2,

Sibiu, 1980

38. Căpățină D., Aspecte ale răspunsului seismic la structuri din beton armat. Tesă de doctorat, Institutul de Construcții București, 1981
39. Cătarig A., Olariu I., Petzins M., Statice, stabilitate și dinamica construcțiilor, vol.1, I.P. Cluj-Napoca, 1981
40. Cătarig A., Petzins M., Statice, stabilitate și dinamica construcțiilor, vol.2, I.P. Cluj-Napoca, 1985
41. Christensen G., Bathroom Box - Units in Denmark, CIB, W19, S56, CICC, I-2, Balatonfüred, Hungary, 1973
42. Coin A., Etats limites ultimes des murs porteurs. Annales de l'ITBTP no. 324 Janvier, 1975
43. Constantinescu I., N., Munteanu M., Gh., Columbovici D., C., Calcule de rezistență structurilor de mașini și utilaje, Ed. Tehnică, București, 1964
44. Cristea I., Munteanu N., Păuleț C., Proiect tip pentru clădiri de locuit P + 2 - P + 4, cu structura din elemente spațiale din beton de granulat, Rev. Arhitectură, 3, 1978
45. Cuteanu E., Maximov B., Metoda elementelor finite în proiectarea structurilor, Ed. Facla, Timișoara, 1980
46. Debijs F., Demir V., Petrovian A., Celule spațiale prefabricate pentru clădiri de locuit confecționate din beton ușor în tehnologie tunel. Sesiunea științifică a Institutului Politehnic Cluj-Napoca, vol. Structuri și elemente de construcții, 1978
47. Debijs S., Analiza seismică a unui sistem structural integral prefabricat pentru clădiri etajate, având nuclee asamblate prin precompresie. Buletin informativ I.P.C.T. nr. 3-4 București, 1986
48. David J., Sanitary Box-Unit in Hungary, CIB, W19, S56, CICC, I-10, Balatonfüred, Hungary, 1973
49. Demeter S., Tratarea electrotermică a betoanelor utilizând metode electrozilor exteriori. Conferința a IX-a de betoane, vol. I, Municipiul Gh. Gheorghiu Dej, 1978
50. Deutschmann A., State and development of the application of Box-Units in the German Democratic Republic, CIB, W19, S56, CICC, I-3, Balatonfüred, Hungary, 1973

51. Daga A., Borş I., Sistemul de programare STREPP, Analiza liniară a structurilor spațiale din elemente plane perpendiculare, ICLA Braşov nr. 2134, 1982
52. Daga A., Borş I., Cocora D., Sistemul de programare PALSS, analiza liniară statică și seismică a structurilor plane și spațiale alcătuite din cadre și diafragme prin metode elementului finit, SNIC - 4, Sibiu, 1984
53. Drozdov P., F., Rascet mnogoetaznyh zhanij iz Objemnyh blokov Beton i selezobeton, 12, Moskva, 1969
54. Drozdov P. F., Konstruirovanie i rascet nesuschih sistem mnogoetaznyh zdaniy i ih elementov, Strojizdat, Moskva, 1977
55. Dumitrescu L., Agent B., Brînzan I., Cotariu L., Trife F., Cercetări experimentale privind lățimea activă a tălpiilor la diafragmele de beton armat. Rev. Construcții nr.1, 1987
56. Dumitrescu F., D., Postelnicu T., Precizări privind noțiunea de ductilitate a structurilor de beton armat în regiuni seismice, Rev. Construcții 1, 1979
57. Dumitrescu D., ș.a., Indrumator pentru proiectarea și calculul construcțiilor din beton armat și beton precomprimat, Ed. Tehnică, București, 1978
58. Dumitrescu C., Locul și rolul elementelor spațiale în contextul locuinței industrializate Rev. Arhitectura 6, 1980
59. Fauchart J., Cortini P., Etude expérimentale de joints horizontaux entre poutres préfabriquées pour murs de bâtiments, Annales de l'ITBTP, no. 300, Decembre, 1972
60. Filimon I., Deutsch I., Curs de beton armat și beton precomprimat, vol. 1 și 2, Institutul Politehnic "Traian Vuia", Timișoara, 1984
61. Filimon I., Mihăescu A., Mirsa O., Friedrich B., Aspecte privind calculul și alcătuirea structurilor de beton armat. Referat de sinteză la Conferința a XI-a de betoane, Timișoara, 1982, Rev. Construcții 2, 1983.
62. Florian A., Debijs F., Clădiri de locuit din elemente spațiale tridimensionale, Rev. Arhitectura, 3, 1978
63. Friedrich B., Contribuții la studiul grinzilor - pereți din beton armat, Teza de doctorat. Institutul Politehnic

„Frasian Vale”, Timișoara, 1974

64. Friedrich B., Stoian V., Mihăescu A., Program pentru calculul diafragmelor asamblate din panouri mari, SNIC - 5, Sibiu, 1984
65. Ghali A., Neville A., M., Structural analysis, A Unified Classical and Matrix Approach, I.E.P. Seranton, San Francisco, Toronto, London, 1972
66. Gheorghiu A., Statica construcțiilor, vol.3 Ed. Tehnică, București, 1980
67. Gioncu V., Ivan M., Bazele calculului structurilor la stabilitate Ed. Facis, Timișoara, 1983
68. Goffi L. Industrializzazione, prefabbricazione edilizia, L'Industria Italiana del Cemento, 9, 1980
69. Grabowski E., Development and application of sanitary and kitchen units in the GDR, CIB, W19, S56, CICC, II-5, Balatonfüred, Hungary, 1973
70. Grüssel H., The VABIEL system, CIB, W19, S56, CICC, II-6, Balatonfüred, Hungary, 1973
71. Gruner I., Rotaru Gr., Frunză B., Unele aspecte ale comportării diafragmelor de beton la clădiri de locuit multietajate, Conferința a III-a de betoane, structuri de beton armat, vol. I, Cluj, 1970.
72. Halmagiu M., Popescu B., Un procédé d'exécution des bâtiments à éléments - cellules en béton léger assemblés par pré-castante, CIB, W19, S56, CICC, II-16, Balatonfüred, Hungary, 1973
73. Halmagiu M., Realizarea industrială a clădirilor de locuit din elemente spațiale prefabricate, Rev. Materiale de construcții, vol VI, nr. 2, 1976.
74. Halmagiu M., Soluții de structuri eficiente pentru clădiri de locuit și social culturale cu partii flexibile, A XI-a Conferință de betoane, vol. II, Timișoara, 1982
75. Halmagiu Grațiana, S.S.F. - Elemente spațiale pentru clădiri cu partii flexibile, Rev. Arhitectura, 5-6, 1978.
76. Hantsche D., Prefabricated three - dimensional reinforced concrete elements in public and domestic building, CIB, W19, S56, CICC, II-7 Balatonfüred, Hungary, 1973

77. Hecaleu T., Concrete box-units for unit substations, CIB, n19, 356, CICC, II-8, Balatonfüred, Hungary, 1973
78. Ifrin M., Dinamica structurilor și ingineria seismică, E.D.P., 1985
79. Iven M., Bazele calculului liniar al structurilor, Ed. Facla, Timișoara, 1985
80. Kárhala G., Hultin B., Box-unit construction in Scandinavia, CIB, n19, 356, CICC, I-6 Balatonfüred, Hungary, 1973
81. Kocz T., Hauszellenbauweisen, Hausen und Wohnen, Heft 5, 1969
82. Luges J., Construction en éléments tridimensionnels à base de béton en France, CIB, n19, 356, CICC, I-7, Balatonfüred, Hungary, 1973
83. Luges J., La préfabrication lourde en panneaux et le bâtiment d'habitation, Ed. Eyrolles, Paris, 1974
84. Luges J., Stabilité des cellules tridimensionnelles, Cahiers du CSTB no. 1248, livraison 120, Juin 1974
85. Luges J., Résistance sous charges verticales centrées ou excentrées d'éléments de max nervurés élanés en béton non armé, Annales de l'ITHTP No. 330, Juillet - Août, 1975
86. Luges J., La stabilité des bâtiments en cellules 3L. Locente des charges, Cahiers du CSTB no. 1383, livraison 170, Juin, 1976
87. Lupa M., Soluții noi de realizare a obiectelor pentru organizarea de șantier, Rev. Construcții, 10 - 11, 1971
88. Massonnet Ch., Dupres G., Maquol B., Miller B., Pender G., Calculul structurilor la calculatoare electronice, Ed. Tehnică, București, 1974
89. Motci A., Accelerația întăririi betonului în elemente prefabricate pentru hale industriale cu consum redus de energie. Materiale de construcții 3, 1985, vol. 15.
90. Mănilu P., Referat de expertiză asupra proiectului structurii de rezistență, Clădiri de locuit P + 8E din parcuri mari, Proiect IPCF T.772/I - P.E. București, 1977.
91. Mănilu P., Topa N., Seare S., Ghezașnescu - Kunst M., Încercări experimentale pe model a blocurilor de locuințe P + 4E, realizate cu celule spațiale. Institutul de Construcții, București, Referat 103, 1979

92. Mayer - Kaller L., **Konzellierbauweisen - Entwicklungs-Stand und Tendenzen**, Boverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1972
93. Mayer - Kaller L., **Analyse systematique de 84 systemes de construction en cellule développés en 17 pays**, CIB, W19, 356, CICC, L-11, Balatonsfürdő, Hungary, 1973
94. Mihai C., Palenaru G., Govali S., Amzief D., Lira I., D., **Unele aspecte privind verificarea științifică experimentală a sistemului SMI propus de firmă BMT din Venezuela**, Rev. Construcții, 10, 1962
95. Mihail M., **Intărirea accelerată a betonelor**, Ed. Tehnică, București, 1972
96. Mihăescu A., Gruner I., Friedrich R., Tomă A., **Cercetări privind stabilitatea pereților elementelor spațiale tip ICIM - Brașov**, Rev. Construcții 5, 1983
97. Mihăescu A., Friedrich R., Tomă A., Steian V., **Studiu teoretic și experimental al elementelor spațiale pentru clădiri de locuit**, a XI-a Conferință de betoane, vol. I, Timișoara, 1982
98. Mihăescu A., Iancu J., Ignatu B., Tomă A., **Aspecte ale ductilității elementelor spațiale prefabricate folosite în construcții etajate**, a XI-a Conferință de betoane, vol. I, Timișoara, 1982
99. Mirșu O., Friedrich R., **Construcții industriale speciale din beton armat**, S.D.P., București, 1975
100. Mirșu O., Friedrich R., **Construcții din beton armat S.D.P.**, București, 1980
101. Moldovan S., Borș I., Velcu G., Liess E., Zikeli F., **Instalație și tehnologie de execuție industrială a elementelor spațiale din beton armat**, a IV-a Conferință a betonelor, vol. II, Brașov, 1971
102. Moldovan S., Borș I., Velcu G., Liess E., **Procedeu de prefabricare a construcțiilor cu elemente spațiale din beton armat**, a IV-a Conferință de betoane vol. III, Brașov, 1971
103. Moldovan S., Borș I., Velcu G., Liess E., Zikeli F., **Element spațial prefabricat, monolit, din beton armat**

pentru construcții, instalație și procedeu pentru realizarea lui. Invenție nr. 54740, Ed. Tehnică, București 1972

104. Moldovan S., Zikeli F., Borș I., Instalație și procedeu de formare alternativă a elementelor spațiale de beton arcat. Invenție nr. 65300 Ed. Tehnică, București, 1978
105. Moldovan S., Borș I., Tomș F., Tehnologia ICIU de fabricație a elementelor spațiale finisate. Conferința a IX-a de betoane, Vol.III, Municipiul Gh. Gh. Lej, 1978
106. Moldovan S., Borș I., Postelnicu Sanda. Sistemul ICIU de prefabricare cu elemente spațiale finisate. Conferința a IX-a de betoane, vol.III Municipiul Gh. Gh. Lej, 1978
107. Moldovan S., Zikeli F., Borș I., Vorrichtung zur Herstellung von Hauszellen aus Beton, Anlegeschrift 2601207, Deutsches Patentamt, Bundesrepublik Deutschland, 1979
108. Moldovan S., Borș I., Procédé d'exécution des bâtiments en éléments tridimensionnels type Brasov, CIB, 19, 356, II-17 „Colloque international sur la construction en cellule, 1973, Balatonfüred, Hungary”.
109. Manfred Y., B., s.s., Factory production of monolith Box-Units CIB, W19, 356, CICC, III-1, Balatonfüred, Hungary, 1973
110. Manfred Y., B., Nikolaev N., A., Altguler E., M., și alții Zdanijah običajh blokov, Streizdat, Moskva, 1974
111. Munteanu M., Cristea I., Păuleț C., Proiect tip pentru cladiri de locuit P + 2 - P.+4, cu structura din elemente spațiale din beton de granuliș, Rev. Arhitectură 3, 1978
112. Nikolaev N., A., Box-unit construction in the USSR, CIB, 19, 356, CICC, I-8, Balatonfüred, Hungary, 1973
113. Niță Gh., Stadiul actual al prefabricării locuințelor, Rev. Construcții, 4, 1947. Ed. AGIB, București
114. Ogebe T., Stigring S., Technical and economical analysis of BOSTADSBOLAGET system for box-unit construction, CIB, W 19, 356, CICC, IV-2, Balatonfüred, Hungary, 1973

115. Clariu C., V., Eficiența economică a folosirii prefabricatelor în construcții, Universitatea din Timișoara, 1970
116. Oliver G., Z., Box - unit construction in the United States, CIB, #19, S56, CICC, I-9, Eszteróváros, Hungary, 1973
117. Onoș T., Păcurar V., Demps J., Comșe I., Structură etajată asamblată prin precompunere, Conferința Națională de Beteon, vol. III Municipiul Gh. Gheorghiu Dej, 1978
118. Paulay Th., Earthquake-Resisting Shearwalls-New Zealand Design Trends. ACI Journal, May-June, 1980
119. Paliakov S., V., s.a., Stroitelstvo zdaniy iz obzemyh blokov, Beton i zelezobeton, 1, Moskva, 1983
120. Polizu Gh., metode și tehnici de industrializare a producției de clădiri pentru locuințe. Rev. Arhitectura, 4, 1977
121. Pommerehne M., Les joint structuraux dans les constructions en grands panneaux préfabriqués, Annales de l'ITSTP no. 314, Février, 1974
122. Pop V., s.a., Elevații prefabricate din elemente spațiale deschise, Rev. Construcții 4, 1981
123. Popescu M., Probleme ale construcțiilor de beton arast ad. Academiei R.S.R., București, 1977
124. Popescu M., Vernescu E., Sur l'application des cellules en Roumanie, CIB, #19, S56, CICC, I-12, Eszteróváros, Hungary, 1973
125. Popescu M., Borș I., Raport tehnic privind deplasarea delegației de specialiști din INCSRC și ICIM Brașov în URSS pentru îndeplinirea de lucru referitoare la colaborarea în domeniul construcțiilor din elemente spațiale, București, 1974
126. Popescu M., s.a., Raport tehnic privind deplasarea delegației de specialiști din INCSRC, IPCT și ICIM Brașov în URSS pentru îndeplinirea de lucru referitoare la colaborarea în domeniul construcțiilor din elemente spațiale, București, 1977
127. Popescu M., Georgescu S., Barbușiani M., Bădițău A., Postelnicu S., Clădiri de locuit din elemente spațiale executate prin tehnologie tip "tunel" în URSS,

Rev. Construcții 4, 1978

128. Popescu B., Georgescu S., Ban I., Hagiescu S., Studiu experimental și teoretic cu privire la dezvoltarea structurilor din elemente spațiale prefabricate pentru clădiri. Recenzieri pentru proiectarea și executarea clădirilor din elemente spațiale cu puține niveluri, ICCPIC, București, 1981
129. Beynonard J., M., Lemaire M., Pera J., Cubeud J., G., Elaboration d'un modèle de calcul de cellules tridimensionnelles sous charges verticales. Etude de l'empilage, Cahiers du CURE no. 183, Cahier 1465, Cahier 1465, Octobre, 1977
130. Robinson J., H., Fouré B., La résistance aux efforts tangents des joints verticaux d'angle entre grands panneaux. Annales de l'ITBTP no. 316, Avril, 1974
131. Salonen A., The Finnish AUSA - System, CIB, W19, S 56, CICC, II-12, Budapest, Hungary, 1973
132. Soare M., V., Manual pentru calculul construcțiilor, Secțiunea VI, Plăci plane, Ed. Tehnică, București, 1977
133. Swartz S., E., Rosenbrough V., H., Bazman Y., M., Buckling Tests on Rectangular Concrete Panels, ACI Journal, January, 1974
134. Swartz S., E., Rosenbrough V., H., Buckling Design Curves for Concrete Panels with All Edges Continuously Supported, ACI Journal, September, 1975
135. Tarteș I., Onoț T., Păcurar V., Proiectarea betonului armat, Ediție III-a, S.L.P., București, 1984
136. Tarteș I., Onoț T., Verificarea calității construcțiilor de beton armat și beton precomprins, Ed. Lucis, Cluj-Napoca, 1979
137. Tarteș I., Betonul precomprins, bazele proiectării etc. Tehnică, București, 1981
138. Tomș A., B., Contribuții privind calculul și comportarea pereților subțiri din structurile de beton armat, Tesă de doctorat, Institutul Politehnic „Traian Vuia” Timișoara, 1985
139. Veisman B., L., Leventin M., B., Structural solutions of

blocks of flats built using Box-Units of the „Captype“
CIB, #19, S56, CICC, II-14, Balatonfüred, Hungary,
1973

140. Varnano J., Statical problems in three dimensional precast
units, CIB, #19, S56, CICC, II-13 Balatonfüred,
Hungary, 1973
141. Vorebcic O., ș.a., Creșterea gradului de prefabricare a
lucrărilor edilitare din Capitală, Rev. Construcții,
4, 1973
142. x x x I.C.I.M., Măsurători acustice în vederea stabilirii
gradului de izolare fonică la elementele blocului
experimental, realizat de ICIM Brașov, din elemente
spațiale de beton armat, Contract nr. 18e9, 1969
143. x x x I. P. Timișoara, Încercarea unor elemente spațiale
de beton armat și a monolitizărilor acestora, con-
tract nr. 17467/1969 între I.P.T. și ICIM Brașov
144. x x x I.P. Timișoara, Studiul conlucrării elementelor spa-
țiale tip ICIM în structurile de rezistență, Contract
nr. 3531/1972 între I.P.T. și ICIM
145. x x x I.P. Timișoara, Comportarea spațială a structurilor
cu diafragme monolite și prefabricate, Contract 3632/
1972 între I.P.T. și I.C.I.M.
146. x x x I.P. Timișoara - Studii experimentale privind structu-
rile etajate executate cu elemente spațiale tip ICIM,
Contract 4366/1973 între I.P.T. și ICIM
147. x x x I. P. Timișoara, Comportarea spațială a structurilor
cu diafragme prefabricate, Contract 2e41/1974 între
I.P.T. și I.C.I.M.
148. x x x I. P. Timișoara, Comportarea structurilor realizate
cu prefabricate spațiale, Contract 66/1975 între
I.P.T. și I.C.I.M.
149. x x x I. P. Timișoara, Cercetări experimentale asupra ele-
mentelor spațiale cu pereți nervurați pentru construc-
ții multietajate, Contract 44/1976 între I.P.T. și
I.C.I.M., Brașov
150. x x x I. P. Timișoara, Cercetări privind comportarea ele-
mentelor spațiale tip I.C.I.M. Brașov pentru construc-
ții multietajate Contract 31/1977 între IPT și ICIM

Braşov

151. x x x ICCPDC Fil. Timişoara, Studii şi cercetări în vederea perfecţionării soluţiilor funcţionale pentru clădiri de locuit, în lumina noilor directive în construcţii. Structuri de clădiri de locuit din elemente spaţiale de beton armat. Contract nr. 303, 1978 între I.P. Timişoara şi ICCPDC Filiala Timişoara, Faza I, 1978 şi Faza II, 1979
152. x x x ICCPDC Fil. Timişoara, Studiu teoretic şi experimental cu privire la dezvoltarea structurilor din elemente spaţiale prefabricate pentru clădiri, Contract nr. 170, 1980 între I.P. Timişoara şi ICCPDC Fil. Timişoara Faza I, 1980 şi Faza II, 1981
153. x x x ICCPDC Fil. Cluj-Napoca. Noi tipuri de clădiri executate din elemente spaţiale, Contract nr. 667, 1977 între ICCPDC Fil. Cluj - Napoca şi ICCPDC Bucureşti
154. x x x ICCPDC Fil. Timişoara. Studiu privind comportarea structurii formate din coloane de elemente spaţiale la acţiunea încărcărilor gravitaţionale şi orizontale. Capacitate portantă, stabilitate, rigiditate, Faza I, Studiu de sinteză, Contract nr. 939, 1983 între I.P. Timişoara şi ICCPDC Fil. Timişoara.
155. x x x INCEBC Fil. Iaşi, Experimentări privind comportarea mecanică la solicitări verticale şi orizontale, îndeosebi seismice, a prefabricatelor spaţiale pentru o clădire de locuit ce urmează a fi executată în Iaşi, Referat cu concluzii, Contract nr. 796, 1973
156. x x x TNIIEP jiligoos, Naucno-tehničeskij očeet po sovmetnoj TNIIEP jiligoos (URSS) i INCEBC (BSR), Razdel „Razrabota rasčetnyh metodov, algoritmov i programy dlja rasčeta na KBM konstrukcij zdanij iz blokov, priimanjennyh v S. S. S. R., Moskva, 1975
157. x x x ICFROM Iaşi, Studiu privind comportarea structurii formate din coloane de elemente spaţiale la acţiunea încărcărilor gravitaţionale şi orizontale. Capacitate portantă, stabilitate, rigiditate, Faza I, colaborare, iunie, 1983
158. x x x ICCPDC, INCEBC, Studiul comportării la acţiuni seismice a soluţiilor noi de clădiri de locuit tipizate, Faza I-a

Cercetări prin calcul și experimentale asupra clădirilor de locuit executate din elemente spațiale, Contract nr. 511, 1960

159. x x x C&B, CIB, H&M, Recommendations Internationales unifiées pour la calcul et l'exécution des structures en panneaux assemblés de grand format, 1 - 2^e édition, AITC, Rome, 1969
160. x x x Design of Precast Concrete Wall Panels, Reported by ACI Committee 583, Journal of the ACI, 7, 1971
161. x x x Instrucțiuni tehnice privind proiectarea clădirilor de locuit cu structura de rezistență din panouri mari, elaborate de I.P.C.T., indicativ P.1al - 78
162. x x x Normativ privind proiectarea antisismică a construcțiilor de locuințe social - culturale, agroindustriale și industriale, indicativ P. loc - 81,
163. x x x Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea construcțiilor cu structura din diafragma de beton, P. 8 - 82, Buletinul Construcțiilor vol. 6, 1982
164. x x x Travaux de parois et murs en béton banché, Cahier des charges, Cahiers du C&B, no. 160, Cahier 1321, juin, 1975
165. x x x ICIM Brașov, proiectele nr. 1807, 1808, 1809 Clădiri de locuit P + 4E cu structura din elemente spațiale, grad 7 seismic, Secțiunile tip P 5 b 1, P 5 c 1, P 5 c 2, P 5 d 1.
166. x x x ICIM Brașov, proiect nr. 1804, Elemente prefabricate pentru clădiri de locuit din elemente spațiale, Secțiunile tip P 5 b 1, P 5 c 1, P 5 c 2, P 5 d 1,
167. x x x IPCT, proiect nr. 1243, Clădiri de locuit P + 4E cu structura din elemente spațiale, grad 6 seismic, tehnologia ICIM Brașov, Breviar de calcul - rezistență, faza P.S.
168. x x x PROIECT Brașov Studiu privind cerințele principale de materiale, manoperă și energie ale sistemelor constructive, Dec. 1982
169. x x x I.P.J. Dolj, Clădiri de locuit P + 4E, din elemente spațiale, proiect tip nr. T.960/A, T.2676

170. x x x IPCF, Proiect tip departamental nr. 4-80-4, Cabină integral prefabricată pentru scări.
171. x x x IPCF, Manual de utilizare al programului SAP 4, 1979
172. x x x IPCF, Manual de utilizare al programului CASE, versiunea 06, 1985
173. x x x IPCF - ICI.A Braşov, Manual de utilizare a programului PALAS, 1984
174. x x x Eficienţa activităţii economice, Ed. Politică, Bucureşti, 1967
175. x x x Căile de reducere a costului lucrărilor de construcţii-mentej, Ed. Stiinţifică, Bucureşti, 1965
176. x x x Organizarea şi planificarea întreprinderilor de construcţii şi transporturi, E.L.P., Bucureşti, 1977
177. x x x ANDERSON BUILDING SYSTEMS, Anderson Systems International, Inc („ASI“), Honolulu, Hawaii, (prospectul firmei)
178. x x x BOSTRADSACTIEBOLAG, Göteborg stads, Byggnads- och Vohningsbyggveselschaft, Göteborg, Sweden, 1973 (prospectul firmei)
179. x x x BBTI, Building Block Module Inc, Reinforced Concrete Modular Building Systems, 44250 Waxen Springs Boulevard, Fremont, California, U.S.A., (prospectul firmei)
180. x x x LOMI, BOX UNIT SYSTEM, Helsinki, Finland 1977 (prospectul firmei)
181. x x x SHELLY SYSTEM, Shelly Enterprises, Rio Piedras, Puerto Rico (prospectul firmei)
182. x x x INTERNATIONAL SYSTEMS (ICI), Mobile, Alabama, U.S.A., O năse fabrică de elemente spaţiale prefabricate, Revista Construcţii, 3, 1982
183. x x x Soluţii constructive sovietice pentru clădiri din elemente spaţiale, ODCAS, Documentare 2, 1983, Fişa BD - 11.1
184. x x x Aditivi pentru betoane. Informaţii ODCAS, fişa 83.4-05
185. x x x ZNIDEP, OSGMT pe eksperimentalnem strojitelstvu v g. Kremodare 22-etajnovo jilogo doma na 96 kv. Seria BKI-I, razrabota v razkah protokola pe sostrudnicestru majdu ZNIDEP jiliscoe (URSS) i INGENC (SSR), Moskva, 1979